



ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ. ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Применение оптико-спектральных технологий для контроля и диагностики отдельных производств в целлюлозно-бумажной промышленности
Дистанционная лазерная идентификация типа строительного материала
Оптимизация динамических параметров оптического щупа триггерного типа
Оптический контроль в системе управления качеством производства поршневых колец

ФОТОНИКА И ОПТОИНФОРМАТИКА

Анализ методов обработки интерферометрических данных в спектральной оптической когерентной томографии
Восстановление изображения с цифровой Фурье-голограммы в условиях превышения частоты Найквиста
Определение малых смещений поверхности объектов методом цифровой голографии

ЛАЗЕРНЫЕ И БИОМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Терагерцовые спектры пропускания и отражения катарактально измененных хрусталиков глаза человека

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Формирование рекуррентной алгоритмической среды коррекции многократных искажений систематических кодов на основе квазисиндромов в темпе аппаратного времени
Исследование физических процессов в импульсной ксеноновой лампе при работе в электрической схеме накачки на основе модулятора с частичным разрядом накопительной емкости

Синтез оптимальных искусственных нейронных сетей с помощью модифицированного генетического алгоритма
Идентификация и настройка системы управления электропривода азимутальной оси телескопа

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Проблемно-ориентированная агентная платформа для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью региона
Системы дублированных вычислительных комплексов с перераспределением запросов
Применение последовательностей де Брейна для построения псевдорегулярных кодовых шкал
Задачи развития IT-инфраструктуры предприятия

МЕХАНИКА И МЕХАТРОНИКА

Кинематическое управление двухпараметрической сканирующей антенной

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Количественное описание нелинейной динамики пористой акриловой тонкой пленки

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

Методика расчета свободноконвективного теплообмена на твердых поверхностях в широком интервале температур

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Математические модели оценки инфраструктуры системы защиты информации на предприятии
Поиск вредоносных программ на основе анализа процесса распространения
Вероятностная модель оценки информационного воздействия
Механизмы и последствия преднамеренных электромагнитных воздействий на передачу данных

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Интегрированные технологии проектирования изделий из полимерных композиционных материалов
Обеспечение качества поверхностей деталей на электроэрозионном оборудовании

ЭКОНОМИКА И ФИНАНСЫ. МЕНЕДЖМЕНТ

Научные предпосылки менеджмента интеллектуальной собственности в решении задач инновационного развития России
Методологические основы устойчивости и устойчивого развития предпринимательских структур как социально-экономических систем
Совершенствование системы управления рисками при перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу Российской Федерации
Распределение венчурных инвестиций по стадиям инноваций в России и США

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Модель управления проектами компетентностно-ориентированных основных образовательных программ вуза

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

SUMMARY

Белов И.П., Прокопенко В.Т., Шерстобитова А.С., Ясько А.Д.	1
Трофимов В.А., Беляева М.А.	8
Майоров Е.Е., Прокопенко В.Т., Ушверидзе Л.А.	13
Маслов В.И., Арустамян А.И., Минаков В.Ф.	16
Гуров И.П., Киракозов А.Х.	21
Гребенюк К.А., Гребенюк А.А., Рябухо В.П.	24
Гендин В.Г.	28
Езерская А.А., Смолянская О.А., Парахуда С.Е., Грачев Я.В., Гончаренко А.О.	33
Ушаков А.В., Яицкая Е.С.	37
Мандрыко Ю.А., Тогатов В.В.	42
Бондаренко И.Б., Гатчин Ю.А., Гераничев В.Н.	51
Тушев С.А.	56
Маслобоев А.В., Горохов А.В.	60
Голубев И.Ю.	65
Ожиганов А.А., Захаров И.Д.	69
Бураков П.В., Курочкин Д.Э.	74
Заморув Г.Б., Калапышина И.И.	78
Лукьянов Г.Н., Успенская М.В.	84
Соколов А.Н.	88
Гатчин Ю.А., Жаринов И.О., Коробейников А.Г.	92
Зикратов И.А., Василенко Р.С.	95
Гвоздев А.В., Лебедев И.С., Зикратов И.А.	99
Баталов Л.В., Жуковский М.И., Киричек Р.В., Лазарев Б.Н.	103
Яблочников Е.И., Васильков С.Д., Фомина Ю.Н.	109
Валетов В.А., Медунецкий В.В.	113
Мурашова С.В.	117
Тихомирова О.Г.	120
Даюб А.В., Куркина Н.С.	124
Шевелев Г.С.	128
Першин А.А.	133
	138
	155



**Издание Санкт-Петербургского национального исследовательского университета
информационных технологий, механики и оптики**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР.....

доктор технических наук, профессор В.О. Никифоров

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

доктор технических наук, профессор А.А. Бобцов
доктор технических наук А.В. Бухановский
доктор технических наук, профессор В.А. Валетов
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Т.А. Вартанян
доктор технических наук М.А. Ган
доктор технических наук, профессор Ю.А. Гатчин
кандидат технических наук, старший научный сотрудник Н.Ф. Гусарова
доктор технических наук, профессор А.В. Демин
кандидат технических наук, доцент Н.С. Кармановский (заместитель главного редактора)
доктор физико-математических наук, профессор Ю.Л. Колесников
доктор физико-математических наук, профессор С.А. Козлов
доктор технических наук, профессор А.Г. Коробейников
доктор технических наук, профессор В.В. Курейчик
доктор технических наук, доцент Л.С. Лисицына
кандидат технических наук, доцент В.Г. Мельников
доктор технических наук, профессор Ю.И. Нечаев
доктор технических наук, профессор Н.В. Никоноров
доктор технических наук, профессор А.А. Ожиганов
доктор технических наук, профессор П.П. Парамонов
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Е.Ю. Перлин
доктор технических наук, профессор И.Г. Сидоркина
доктор технических наук О.А. Степанов
доктор технических наук, профессор В.Л. Ткалич
доктор технических наук, профессор А.А. Шалыто
доктор технических наук, профессор Ю.Г. Якушенков

Ответственный секретарь Г.О. Артемова

Редактор, верстка Н.Ф. Гусарова

Редактор Л.Н. Точилина

Перевод Н.Г. Лещикова

Графика М.В. Герасимова

Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, НИУ ИТМО, комн. 330

Телефон / факс (812) 233 45 51

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

E-mail: karmanov@mail.ifmo.ru

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Редакция принимает к рассмотрению оригинальные (нигде ранее не опубликованные, за исключением материалов научных конференций) работы по тематике журнала, представляющие новые научные результаты, полученные лично авторами статьи. Публикуются также обзоры, характеризующие современное состояние актуальных направлений развития науки и техники, сообщения о научных конференциях, материалы научных дискуссий и рецензии на новые книги.

Тематика журнала включает разделы, отражающие достижения науки, техники и технологии в области современного приборостроения по направлениям: оптика, оптические системы и технологии, оптическое материаловедение и нанотехнологии, информационные и компьютерные системы и технологии, методы и системы защиты информации, системный анализ, системы автоматического управления, мехатроника, системы автоматизированного проектирования, микроэлектроника, биомедицинские технологии. В качестве дополнительных разделов журнал также публикует работы по экономике и финансам.

Материал статьи должен быть изложен в соответствии со следующей структурой.

В аннотации, рассчитанной на самый широкий круг читателей, необходимо кратко (объемом до 100 слов) изложить научное содержание статьи.

Во введении необходимо представить содержательную постановку рассматриваемого вопроса, краткий анализ известных из научной литературы решений, критику их недостатков и преимуществ (особенности) предлагаемого подхода.

В основном тексте статьи должна быть представлена строгая постановка решаемой задачи, изложены и обстоятельно разъяснены (доказаны) полученные утверждения и выводы, приведены результаты экспериментальных исследований или математического моделирования, иллюстрирующие сделанные утверждения. Основной текст статьи может быть разбит на отдельные разделы: «Постановка задачи», «Основной результат», «Результаты моделирования» и т.п.

В заключении необходимо кратко сформулировать основные результаты, прокомментировать их и, если возможно, указать направления дальнейших исследований.

Все статьи проходят процедуру рецензирования. После ее завершения автору направляется экземпляр рукописи с замечаниями рецензента и научного редактора для доработки. При опубликовании статьи указываются даты ее поступления и последующих переработок.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Объем статьи, включая иллюстрации, таблицы и список литературы, не должен превышать 6 страниц.

Оригинал-макет статьи выполняется в редакторе Word for Windows. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 12 pt, межстрочный интервал одинарный, поля сверху 20 мм, остальные поля 25 мм. Абзацный отступ 10 мм.

Аннотация печатается шрифтом Times New Roman 10 обычный, межстрочный интервал одинарный, выравнивается по ширине страницы. В аннотации не допускаются ссылки на цитированную литературу и громоздкие формулы.

Название раздела печатается шрифтом Times New Roman 12 полужирный, межстрочный интервал одинарный, отделяется от предыдущего раздела полусторонней пустой строкой, а от последующего текста одной пустой строкой.

Название подраздела печатается шрифтом Times New Roman 12 полужирный, межстрочный интервал одинарный, пустыми строками не отделяется.

Формулы набираются в редакторе Microsoft Equation Ed. 3.0. Параметры стиля: текста — Times New Roman, прямой; функции — Times New Roman, прямой; переменной — Times New Roman, наклонный; греческих букв — Symbol, прямой; символов — Symbol, прямой; матрицы-вектора — Times New Roman, прямой, полужирный; чисел — Times New Roman, прямой. Размеры: обычный — 12 pt, крупный индекс — 10 pt, мелкий индекс — 8 pt, крупный символ — 16 pt, мелкий символ — 12 pt. Отдельные переменные в тексте допускается набирать в текстовом режиме с соблюдением требований, указанных для формул. Разделительный знак десятичных дробей — запятая.

При оформлении рисунков и графиков используется шрифт Times New Roman. Стиль написания переменных должен соответствовать требованиям к основному тексту.

Используются только единицы измерения, соответствующие системе СИ.

Список использованной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.5-2008. Нумерация позиций — согласно очередности ссылок в тексте.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробную информацию смотрите на сайте <http://books.ifmo.ru/ntv/>

Подписано к печати 15.02.2012 Тираж 350 экз. Заказ № 26(78)

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

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций,
свидетельство ПИ № ФС77-47243 от 10.11.2011 г.
Подписной индекс 47 197 по каталогу агентства Роспечать
(Газеты. Журналы)



OPTICAL AND OPTICAL ELECTRONIC SYSTEMS. OPTICAL TECHNOLOGIES

Optical spectral technologies application for control and diagnostics of bleaching works in the pulp and paper industry

Remote laser identification of the building material type

Dynamic parameters optimization for trigger type optical probe

Optical control in the quality management system of piston rings production

PHOTONICS AND OPTICAL INFORMATICS

Analysis of interferometer data processing methods in spectral optical coherence tomography

Reconstruction of digital Fourier hologram in case of Nyquist frequency excess

Small displacements determination of objects surface by digital holography methods

LASER AND BIOMEDICAL TECHNOLOGIES

Terahertz transmission and reflection spectra of cataract modified human crystalline lens

ANALYSIS AND SYNTHESIS OF COMPLEX SYSTEMS

Formation of the algorithmic recursive correction for systematic codes multiple errors based on quasi-syndromes in the rate of hardware time

Physical processes research in the pulse xenon lamp at the pump electrical circuit operation on the basis of modulator with the partial discharge condenser

Synthesis of optimal artificial neural networks by modified genetic algorithm

Control system identification and adjustment for the electro drive of telescope azimuthal axis

COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Problem-oriented agent-based platform of multi model complexes design for regional safety management support

Systems of duplicated computer complexes with requests reallocation

De Bruijn sequences application for pseudo regular code scales generation

Development problems of the enterprise IT- infrastructure

MECHANICS AND MECHATRONICS

Kinematic control of two-parametrical scanning aerial

MATERIALS TECHNOLOGY AND NANOTECHNOLOGIES

Quantitative description of nonlinear dynamics in the porous acrylic thin film

THERMAL PHYSICS AND THEORETICAL HEAT ENGINEERING

Method of the free-convection heat exchange calculation on solid surfaces in a wide temperature range

INFORMATION SECURITY METHODS AND SYSTEMS

Mathematical estimation models of information security system infrastructure at the enterprise

Malware detection method based on the program distribution process analysis

Probabilistic analysis model for information influence

Information protection against intentional electromagnetic influences

INSTRUMENT-MAKING TECHNIQUE. ORGANIZATION OF PRODUCTION

Integrated engineering design technologies for polymeric composite materials

Product surface quality providing on electro-erosion equipment

ECONOMICS AND FINANCES. MANAGEMENT

Management scientific preconditions for intellectual property

in the problems decision of innovative development of Russia

Methodological basis of sustainability and sustainable development of business structures as socio-economic systems

Risk management system improvement for goods and vehicles movement

through customs border of the Russian Federation

Innovation stages distribution of venture capital investments in Russia and the United States

NEW TECHNOLOGIES IN EDUCATION

Project management model for university main competence-oriented educational programs

BRIEF REPORTS

Temperature dependence of refraction index for ethylene glycol and propylene glycol aqueous solutions

Software architecture for the automated workplace of the onboard aviation equipment developer

Life cycle "design-manufacture-operation" realization for onboard equipment

at the aviation industry enterprises

On the information security works against intentional electromagnetic influences

Consolidation of diverse channels of computer network

Estimation of functional safety for the duplicated computing systems

Financial planning systems review in the market of Kazakhstan

Musical computer technologies in the modern professional music education

SUMMARY

N. Belov, V. Prokopenko, A. Sherstobitova, A. Yas'kov 1

V. Trofimov, M. Belyaeva 8

E. Majorov, V. Prokopenko, L. Ushveridze 13

V. Maslov, A. Arustamyan, V. Minakov 16

I. Gurov, A. Kirakozov 21

K. Grebenyuk, A. Grebenyuk, V. Ryabukho 24

V. Gendin 28

A. Ezerskaya, O. Smolyanskaya, S. Parakhuda, 33

Y. Grachev, A. Goncharenko

A. Ushakov, E. Yaitskaya 37

Yu. Mandryko, V. Togatov 42

I. Bondarenko, Yu. Gatchin, V. Geranichev 51

S. Tushev 56

A. Masloboev, A. Gorokhov 60

I. Golubev 65

A. Ozhiganov, I. Zakharov 69

P. Burakov, D. Kurochkin 74

G. Zamoruev, I. Kalapyshina 78

G. Luk'yanov, M. Uspenskaya 84

A. Sokolov 88

Yu. Gatchin, I. Zharinov, A. Korobeynikov 92

I. Zikratov, R. Vasilenko 95

A. Gvozdev, I. Lebedev, I. Zikratov 99

L. Batalov, M. Zhukovsky, R. Kirichek, B. Lazarev 103

E. Yablochnikov, S. Vasilkov, Y. Fomina 109

V. Valetov, V. Medunetskiy 113

S. Murashova 117

O. Tikhomirova 120

A. Dayub, N. Kurkina 124

G. Shevelev 128

A. Pershin 133

N. Belov, S. Lapshov, A. Patyaev, A. Sherstobitova, 138

A. Yas'kov

Yu. Gatchin, I. Zharinov, O. Zharinov 140

I. Gatchin, I. Zharinov, O. Zharinov, P. Kosenkov 141

M. Zhukovsky, V. Chvanov 143

A. Osipov, V. Bogatyrev 145

V. Bogatyrev, S. Bibikov 146

M. Baimuldin, A. Shaugumbekova 147

V. Belichenko, I. Gorbunova 148

155

УДК 535.346.1; 535.345.1

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИКО-СПЕКТРАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ОТБЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.П. Белов, В.Т. Прокопенко, А.С. Шерстобитова, А.Д. Яськов

Рассмотрены оптические методы и средства контроля и диагностики отбельных производств, применяющих хлорсодержащие белящие реагенты, в целлюлозно-бумажной промышленности. Приводятся результаты лабораторных исследований в видимой области длин волн коэффициента диффузного отражения R и параметра белизны B целлюлозы в зависимости от расхода хлорсодержащего белителя и длительности процесса отбели. Данные по спектрам диффузного отражения сопоставлены с ультрафиолетовым поглощением в водных растворах остаточных лигнинов. Обоснованы алгоритмы использования оптико-спектральных технологий для оптимизации отбельных производств целлюлозы. Представлены результаты промышленных испытаний оптико-спектрального датчика белизны в отбельном производстве Котласского целлюлозно-бумажного комбината.

Ключевые слова: коэффициент диффузного отражения, параметр белизны, ультрафиолетовое поглощение, остаточные лигнины, концентрация активного хлора.

Введение

Оптические методы и средства промышленной диагностики и контроля находят все более широкое применение в современных химических производствах [1–5], где могут быть эффективно использованы для оптимизации параметров технологического потока. Конкретным примером успешного применения оптических контрольно-диагностических технологий являются отбельные производства в целлюлозно-бумажной промышленности, использующие хлорсодержащие белящие реагенты, такие как водные растворы хлора и диоксид хлора. Принятые в таких производствах нормы жестко регламентируют трудовые и природоохранные мероприятия, так что проблема оптимизации параметров отбельного технологического потока остается здесь актуальной.

Известные оптические датчики для целлюлозно-бумажных производств [2–5] используют от одного до трех каналов измерения отражения на длинах волн, близких к $\lambda = 457, 630$ и 1100 нм. Канал измерений на $\lambda = 457$ нм определяет приращение коэффициента отражения ΔR в процессе хлорирования и последующей промывки целлюлозной массы. Выбор используемой в этом канале рабочей длины волны связан с определением параметра белизны B , который представляет собой коэффициент диффузного отражения в полосе пропускания стандартного оптического фильтра $\lambda = 440\text{--}480$ нм [6].

В условиях реального отбельного производства целлюлозы фотометрический сигнал в канале измерений датчика на $\lambda = 457$ нм определяется не только оптическими свойствами целлюлозы, связанными с расходом белителя и длительностью процесса отбели. Другими влияющими факторами здесь могут быть излишние концентрации белимой массы, снижение прозрачности оптического окна в погружаемом зонде из-за осаждения на его внешней поверхности смол и других нерастворимых компонентов, а также абразивность пульпы. Влияние упомянутых факторов может быть частично скомпенсировано за счет организации дополнительных каналов измерения на $\lambda = 630$ нм и $\lambda = 1100$ нм. Оптимизация расхода белящего реагента может осуществляться, исходя из отношения R_{457}/R_{630} [2]. В канале измерений на $\lambda = 1100$ нм сигнал слабо меняется в процессе хлорирования и промывки целлюлозы и определяется в основном концентрацией пульпы, что позволяет оценить соответствующий вклад в коротковолновый коэффициент отражения.

Представляет интерес оптимизация трехканальных оптических датчиков с целью упрощения их конструкции, а также повышения эффективности алгоритма хлорирования. В связи с этим в задачи этой работы входило получение необходимых количественных данных по оптическим свойствам целлюлозы в зависимости от расхода хлорсодержащего белителя и длительности процесса отбели. В известной научно-технической литературе, опубликованной до начала выполнения настоящего проекта [1–5], такие данные практически отсутствуют; имеющиеся результаты по спектрам отражения белимой хлором целлюлозы в видимом диапазоне длин волн представлены на качественном уровне и, в лучшем случае, могут рассматриваться как оценочные.

Согласно сложившимся представлениям [1], спектры ультрафиолетового поглощения в жидкофазных продуктах отбели целлюлозы при $\lambda = 200\text{--}400$ нм формируются остаточными лигнинами и определяют коэффициент отражения целлюлозы в видимой области спектра при $\lambda = 380\text{--}760$ нм и параметр ее белизны B . Сопоставительный анализ спектров ультрафиолетового поглощения жидкофазных продуктов

отбелки и коэффициентов отражения беленой целлюлозы в видимой области длин волн, а также обобщение этих данных в рамках теории Кубелки–Мунка могут представлять интерес для диагностики и прогнозирования результатов промышленного отбельного процесса по параметру белизны B .

Использованные образцы. Методы и средства лабораторных исследований и промышленных испытаний

Для лабораторного моделирования процесса отбелки были использованы образцы сульфатной и сульфитной целлюлозы, предоставленные Сыктывкарским лесопромышленным комплексом (г. Эжва) и Котласским целлюлозно-бумажным комбинатом (г. Коржма). Параметр жесткости в исследованных образцах (перманганатное число Бьеркмана G), определяющий содержание лигнинов в исходной целлюлозе, находился в пределах $G_{\text{вх}} = 27\text{--}56$.

Для анализа экспериментальных данных, полученных при хлорировании целлюлозы, были использованы специально разработанные и изготовленные спектральные приборы лабораторного назначения.

Коэффициент диффузного отражения сухих отливок хлорированной целлюлозы измерялся на спектрометре, имеющем интегрирующую сферу с входным портом для установки образцов [7]. Особенность сферы состояла в использовании расположенной в ее полости миниатюрной криптоновой лампы накаливания и внутреннего экрана, блокирующего прямое попадание потока от излучения на образец. Как показал выполненный в рамках данной работы анализ [8], применение такого экрана не влияет на погрешность измерений коэффициента диффузного отражения, так что получаемый здесь результат остается практически без изменений в сравнении с интегрирующей сферой, имеющей внешнее расположение источника излучения и фотодетектора.

Жидкофазные продукты хлорирования исследовались в ультрафиолетовом диапазоне спектра при $\lambda = 200\text{--}400$ нм [9], где применялся спектрофотометр для измерения коэффициента оптического пропускания $T(\lambda)$ жидкостной пробы в кювете. В осветителе этого прибора использовались дейтериевая лампа ДДС-30 со стандартным блоком питания и конденсор из плавленого кварца КУ-1. Внешний вид применявшихся в лабораторных исследованиях приборов показан на рис. 1.

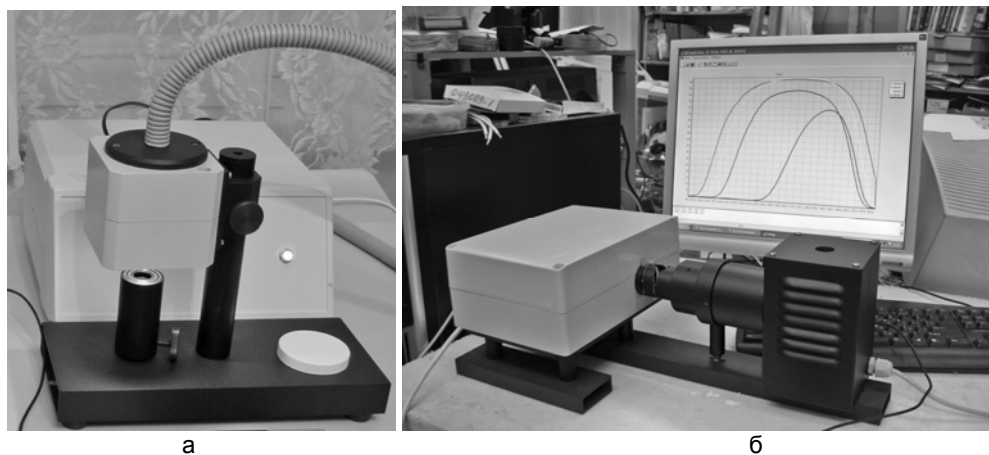


Рис. 1. Внешний вид применявшихся в лабораторных исследованиях приборов: спектрометр с интегрирующей сферой для измерения коэффициентов диффузного отражения в видимой области спектра (а); спектрофотометр для ультрафиолетовой области спектра (б)

Блок спектрометра в этих приборах был построен на базе классической вогнутой дифракционной решетки (постоянная $N = 600$ штр/мм, радиус кривизны $r = 62,5$ мм). Регистрация спектра производилась ПЗС-линейкой, сигнал которой обрабатывался электронной системой сбора и предварительной обработки данных. Программное обеспечение позволяло выводить результаты измерений в виде графиков и числовых массивов, а также хранить и распечатывать данные.

Для проведения промышленных испытаний был разработан оптико-спектральный датчик белизны целлюлозы [10] (рис. 2). Зонд имел внешний защитный кожух (диаметр 25 мм, длина 570 мм), изготовленный из титанового сплава ВТ1. Зонд через шаровой затвор, обеспечивающий возможность его монтажа и демонтажа без остановки технологического потока, погружался в поток отбеливаемой целлюлозной массы. Через входное оптическое окно из лейкоапфира поступало зондирующее и отраженное от хлорируемой целлюлозы излучение. В осветителе применялась галогенная лампа накаливания КГМ 12, установленная непосредственно перед оптическим окном. Отраженное излучение передавалось через трехколлекторный волоконно-оптический жгут с оптическими фильтрами на $\lambda = 457, 630$ и 1100 нм на фотодиоды серии ФДУК для видимой области длин волн и ФД-4АГ для ближнего инфракрасного диапа-

зона. Измеренные сигналы в оптических каналах подавались с первичного электронного блока (сбора и обработки данных) на пульт управления отбельным цехом.

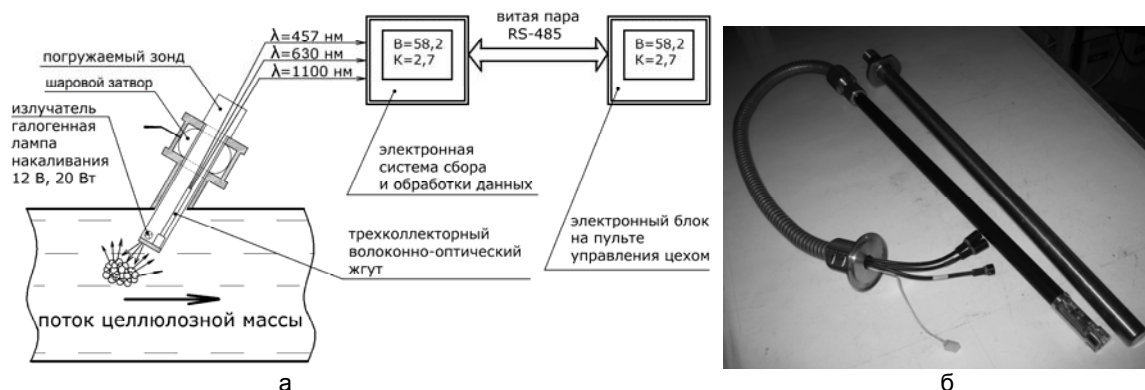


Рис. 2. Оптико-спектральный датчик белизны целлюлозы: структурная схема (а); внешний вид погружаемого зонда (б)

Влияние хлорирования на коэффициенты диффузного отражения целлюлозы

Вид спектров диффузного отражения $R(\lambda)$ хлорированной целлюлозы, измеренных на сухих отливках с жесткостью $G = 47$ и параметром белизны $B = 59,1\%$ в диапазоне длин волн $\lambda = 380\text{--}760$ нм при концентрации активного хлора в белителе в пределах $k_{Cl} = 0\text{--}10\%$ и длительности хлорирования 40 с, показан на рис. 3, а. Спектральные зависимости $R(\lambda)$ для таких же по параметрам жесткости и белизны образцов целлюлозы при различной длительности процесса хлорирования $t = 0\text{--}720$ с и концентрации активного хлора $k_{Cl} = 2,5\%$ представлены на рис. 3, б. Качественно сходный вид спектры отражения $R(\lambda)$ имели и для других образцов целлюлозы с параметрами жесткости в приведенных выше пределах для сульфатной и сульфитной целлюлозы. Как видно на рис. 3, хлорирование приводит к существенному снижению коэффициента диффузного отражения $R(\lambda)$ в фиолетово-синей области спектра, тогда как при $\lambda > 530$ нм величина $R(\lambda)$ относительно слабо зависит от расхода хлора и длительности хлорирования.

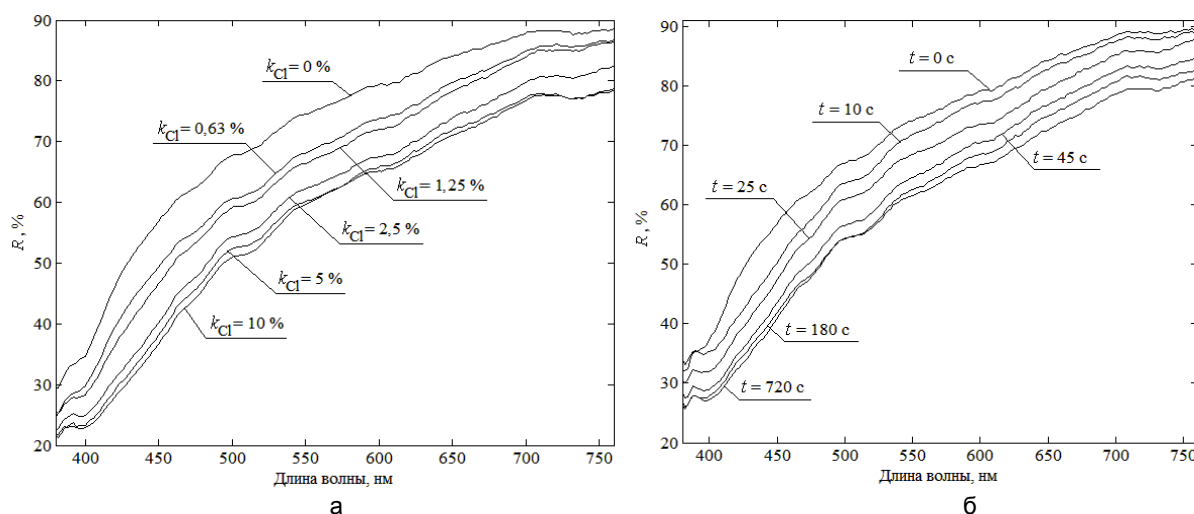


Рис. 3. Спектры коэффициента диффузного отражения сульфатной целлюлозы при различной концентрации активного хлора в белителе $k_{Cl} = 0\text{--}10\%$ (а); при различной продолжительности хлорирования $t = 0\text{--}720$ с (б)

Оптимизация расхода хлора и длительности процесса хлорирования

На рис. 4 показаны зависимости параметра белизны целлюлозы B и спектрального отношения R_{457}/R_{630} , полученные из спектров отражения $R(\lambda)$ (рис. 3). Как видно на рисунке, эти зависимости качественно сходны. Монотонное и близкое к линейному убывание B и R_{457}/R_{630} , наблюдаемое при повышении уровня хлорирования в области низких концентраций активного хлора $k_{Cl} = 0\text{--}2,5\%$ (рис. 4, а), может быть сопоставлено с недостатком содержания хлорного реагента по отношению к концентрации лигнинов в исследуемой целлюлозе. После промывки хлорированной массы, обеспечивающей здесь растворение и удаление хлорлигнинов, целлюлоза остается «недобеленной». При недостаточном хлорировании остаточные лигнины, сохраняющиеся и в сухих отливках целлюлозы, придают ей желтый или желто-оранжевый оттенок цвета.

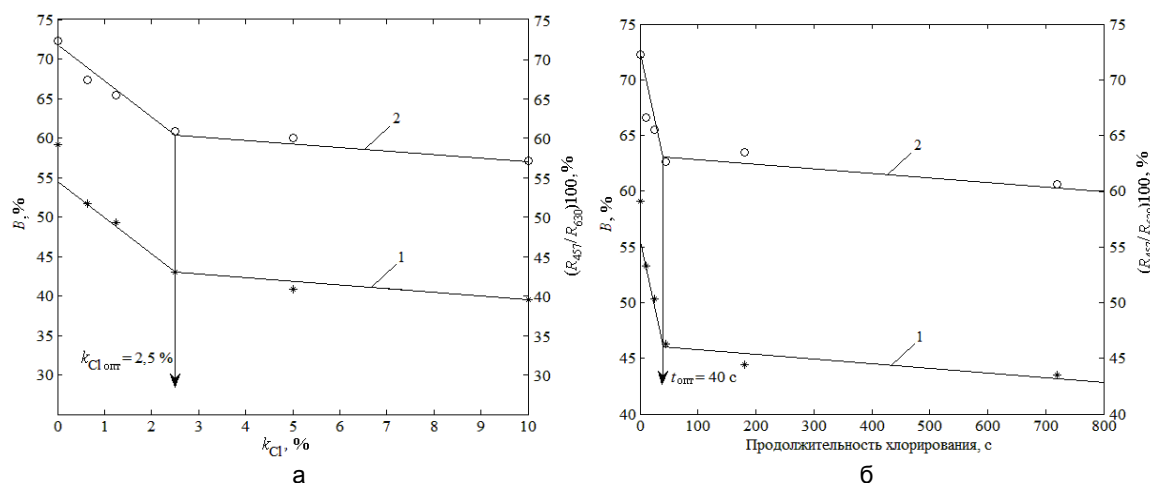


Рис. 4. Зависимость белизны B (1) и спектрального отношения $(R_{457}/R_{630})100\%$ (2): от концентрации активного хлора при длительности хлорирования 40 с (а); от продолжительности хлорирования при концентрации активного хлора 2,5% (б). Точки – экспериментальные данные, сплошные линии – результаты линейной аппроксимации

При дальнейшем повышении уровня хлорирования в область концентраций $k_{Cl} = 2,5\text{--}10\%$ активного хлора исследуемые параметры B и R_{457}/R_{630} остаются практически без изменений (рис. 4, а). Такой характер зависимости позволяет считать, что здесь концентрация хлора в составе реагента избыточна по отношению к содержанию лигнинов в исследуемой целлюлозной массе. Избыточный хлор в белителе не участвует в образовании хлорлигнинов, а выделяется в окружающую среду, что создает очевидные эко- и природоохранные проблемы.

Таким образом, оптимальный уровень хлорирования, определяемый содержанием лигнинов, задается здесь точкой перехода от области быстрого убывания белизны B или спектрального отношения R_{457}/R_{630} к области, где эти параметры остаются без изменений. На рис. 4, а, такой точке соответствует концентрация активного хлора $k_{Cl\text{ опт}} = 2,5\%$ для образца целлюлозы с жесткостью $G = 47$. Концентрационная зависимость $B(k_{Cl})$, также как и $R_{457}/R_{630}(k_{Cl})$, дает одно и то же значение оптимальной концентрации активного хлора. При варьировании входной жесткости исследуемой целлюлозы в приведенных выше пределах ($G = 27\text{--}56$) определяемый уровень оптимального хлорирования изменялся от $k_{Cl\text{ опт}} = 1,8\%$ до $k_{Cl\text{ опт}} = 4,0\%$.

Отметим очевидные преимущества предлагаемого здесь оптико-спектрального алгоритма дозирования хлорного белителя, основанного на определении особой точки в зависимостях параметров B и R_{457}/R_{630} (рис. 4, а) от концентрации активного хлора, соответствующей переходу от области недостаточного хлорирования к области избыточного содержания хлора в белителе. Действие упомянутых выше факторов (изменение концентрации или скорости хлорируемой пульпы, «зарастание» оптического окна датчика и т.п.) приводит только к смещению по оси ординат этих зависимостей, тогда как точка оптимального хлорирования остается без изменений.

Зависимость параметра белизны B от длительности процесса хлорирования для того же образца целлюлозы с жесткостью $G = 47$ при оптимальной концентрации хлора в белителе $k_{\text{опт}} = 2,5\%$ приведена на рис. 4, б. Также как и для концентрационных зависимостей B и R_{457}/R_{630} (рис. 4, а), временные зависимости этих параметров имеют характерную точку, определяющую время оптимального хлорирования. На рис. 4, б, это время составляет $t_{\text{опт}} \approx 40$ с, так что при $t < t_{\text{опт}}$ реакция хлорирования остается незавершенной, а при $t > t_{\text{опт}}$, где реакция хлорирования с формированием хлорлигнинов завершена, параметры B и R_{457}/R_{630} сохраняются неизменными. Для образцов сульфатной целлюлозы с различной жесткостью ($G = 27\text{--}56$) оптимальное время хлорирования, определяемое из экспериментальных данных, находилось в пределах $t_{\text{опт}} = 30\text{--}60$ с [11].

Промышленные испытания оптико-спектрального датчика и их результаты

В ходе промышленных испытаний, проводившихся в течение шести месяцев, операторами цеховых смен фиксировались и протоколировались в рабочих журналах данные по жесткости целлюлозы на входе и выходе ступени хлорирования, расходу белителя, а также выводимые с оптического датчика на пульт управления цехом значения белизны B и концентрации пульпы k_p , откалиброванные по данным цеховой лаборатории. Для дальнейшего анализа результатов промышленных испытаний датчика из полученного массива данных были отобраны точки с регламентируемой действующими техническими условиями выходной жесткостью $G_{\text{вых}} = 10\text{--}25$. При этом по параметру входной жесткости выбранные точки делились на четыре группы с $G_{\text{вх}} = 27\text{--}30$; $G_{\text{вх}} = 40,5\text{--}41$; $G_{\text{вх}} = 47\text{--}48$; $G_{\text{вх}} = 52\text{--}56$. Результаты анализа

полученных данных представлены на рис. 5 в виде графика зависимости показаний опто-спектрального датчика по белизне B от расхода хлора Cl и концентрации активного хлора k_{Cl} .

Общий характер зависимостей $B(k_{Cl})$ (рис. 5) аналогичен полученным в ходе лабораторного моделирования хлор-отбелного процесса. На рисунке могут быть отчетливо выделены три участка, которые соответствуют недостаточному хлорированию целлюлозной пульпы (участок 1), оптимальному дозированию хлорсодержащего реагента для различных параметров жесткости $G_{вх}$ (участок 2), а также пере-хлорированию целлюлозной массы (участок 3). Вертикальными стрелками отмечены оптимальные уровни хлорирования для целлюлозы с различной входной жесткостью $G_{вх}$.

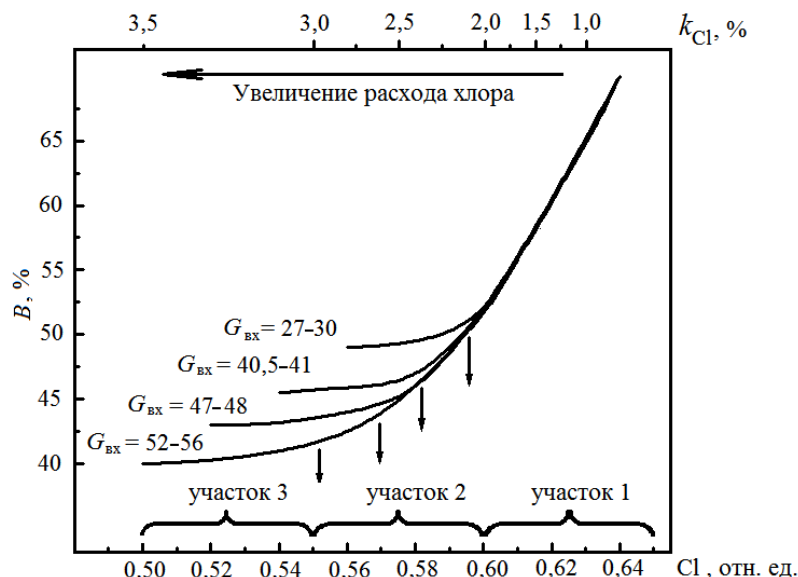


Рис. 5. Зависимость показаний опто-спектрального датчика по белизне от расхода хлора и концентрации активного хлора для целлюлозной массы с различной входной жесткостью $G_{вх}$

В ходе промышленных испытаний опто-спектрального датчика были исследованы упомянутые выше фотометрические технологии оптимизации дозировки хлорсодержащего белящего реагента. Было подтверждено, что метрологические и диагностические возможности оптического канала на $\lambda = 457$ нм, определяющего параметр белизны B , ограничены как характеристиками технологического потока (концентрация пульпы, скорость потока и др.), так и передаточной функцией оптического тракта (временное изменение световых характеристик излучателя, «зарастание» оптического окна зонда и др.). Использование дополнительных оптических каналов на $\lambda = 630$ и 1100 нм позволяет частично скомпенсировать действие некоторых внешних факторов, таких как изменение концентрации пульпы (оптический канал на $\lambda = 1100$ нм). При этом во всех фотометрических алгоритмах применения рассматриваемого датчика, в том числе использующих спектральное отношение R_{457}/R_{630} , остается некомпенсированным продолжительный временной дрейф параметров оптических каналов, что дает зависящую от времени постоянную, входящую в числитель и знаменатель спектрального отношения R_{457}/R_{630} .

Предлагаемый здесь алгоритм, основанный на определении особой точки в зависимости $B(k_{Cl})$ (рис. 4, а; рис. 5), позволяет не только полностью исключить действие различных внешних факторов, но и конструктивно упростить датчик, сохранив в нем только один оптический канал на $\lambda = 457$ нм, а также отказаться от дополнительных перекалибровок измерительного тракта [10].

Ультрафиолетовое поглощение в жидкофазных продуктах отбелки и спектры диффузного отражения целлюлозы

Результаты измерений ультрафиолетового поглощения света при $\lambda = 200\text{--}400$ нм в фильтрах жидкофазных продуктов хлорной отбелки для трех образцов сульфатной целлюлозы с параметрами белизны $B = 37; 52; 64\%$, также как и коэффициентов диффузного отражения $R(\lambda)$ для сухих отливок тех же образцов в видимой области длин волн $\lambda = 380\text{--}760$ нм, показаны точками на рис. 6. Представляет интерес сопоставить и обобщить приведенные на рис. 6 экспериментальные данные на основании теории Кубелки–Мунка, в рамках которой коэффициент отражения рассеивающих сред описывается выражением

$$R = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\frac{K^2}{S^2} + \frac{2K}{S}}, \quad (1)$$

где S – коэффициент рассеяния; K – коэффициент поглощения объекта. В выражении (1) предполагается, что толщина исследуемого образца достаточно велика, чтобы не учитывать влияние его внешней поверхности на результаты измерений или расчетов R .

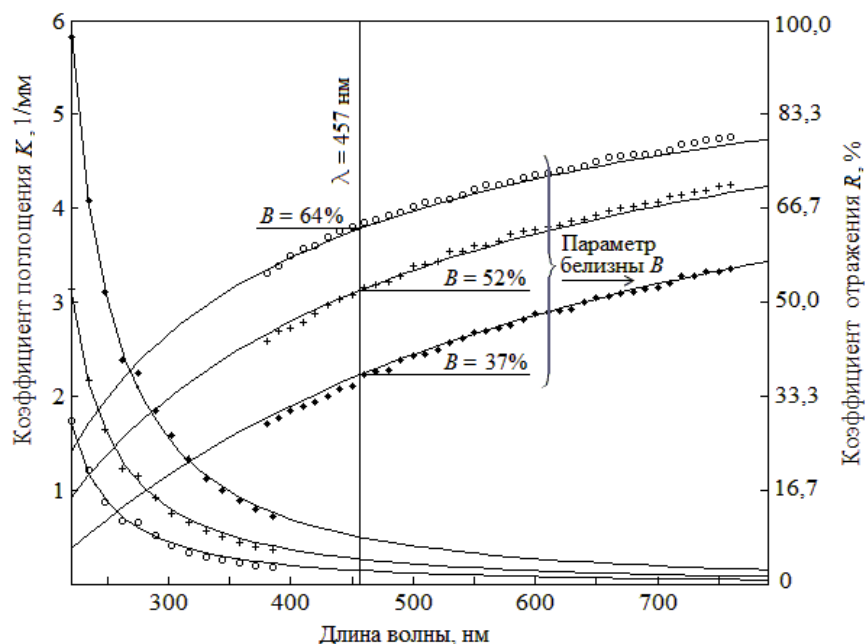


Рис. 6. Спектральные зависимости коэффициентов поглощения $K(\lambda)$ фильтратов водных растворов остаточных лигнинов и спектральные зависимости коэффициентов диффузного отражения $R(\lambda)$ для трех образцов целлюлозы с параметрами белизны $B = 37; 52; 64\%$

Коэффициент рассеяния света в целлюлозе, где размеры формирующих ее волокон значительно превышают длины волн оптического диапазона, определяется, в основном, соотношением слабо зависящих от длины волны показателей преломления волокон и разделяющих их воздушных промежутков, так что в первом приближении здесь можно считать $S(\lambda) = \text{const}$. Таким образом, коэффициент отражения $R(\lambda)$ может быть найден из спектра поглощения $K(\lambda)$.

При увеличении длины волны излучения ультрафиолетовый коэффициент поглощения монотонно убывает, каких-либо выраженных особенностей в спектрах $K(\lambda)$, за исключением максимума поглощения на 275 нм, не выявляется.

Для аппроксимации спектральной зависимости $K(\lambda)$ на длинноволновом крае ультрафиолетовой полосы поглощения может быть использовано выражение

$$K(\lambda) = \frac{A}{(\lambda/\lambda_0)^2 - 1}, \quad (2)$$

где A – максимум эффективной полосы поглощения, а λ_0 – положение максимума поглощения по шкале длин волн. Параметры A и λ_0 рассматривались как подгоночные и определялись из экспериментальных данных по ультрафиолетовому поглощению в водных растворах остаточных лигнинов.

Анализ экспериментальных данных показал, что параметр λ_0 остается практически постоянным для всех исследованных образцов целлюлозы и составляет $\lambda_0 = 183 \pm 5$ нм. Амплитуда A в максимуме ультрафиолетовой полосы поглощения зависит линейно от белизны материала. Результаты расчетов спектров $K(\lambda)$ и $R(\lambda)$, выполненных по формулам (1) и (2) в рамках принятых выше приближений, показаны на рис. 6 сплошными линиями. Можно отметить не только полную качественную, но и вполне удовлетворительную количественную сходимость экспериментальных и расчетных данных, которая для коэффициента отражения $R(\lambda)$ находится на уровне $\Delta R = \pm 1,5\%$, близком к погрешности измерений, а для коэффициента поглощения $\Delta K = \pm 0,04 \text{ мм}^{-1}$.

Исходя из приведенных выше данных можно ожидать, что ультрафиолетовая спектрофотометрия может быть эффективным средством контроля и диагностики для варочных и отбельных производств целлюлозно-бумажной промышленности. Основным достоинством рассмотренных ультрафиолетовых оптико-спектральных технологий является возможность прогнозирования конечных результатов на основе данных, получаемых на промежуточных ступенях технологического процесса. При этом обеспечивается корректировка технологических параметров для достижения нормируемых результатов [12].

Заключение

В результате анализа расчетных и экспериментальных данных по влиянию хлорирования на оптические свойства целлюлозы был разработан новый алгоритм дозировки хлорсодержащего реагента для отбельных производств целлюлозно-бумажной промышленности. Лабораторные и промышленные испыта-

ния показали, что использование данного алгоритма, основанного на определении особой точки перехода от области недостаточного хлорирования к области перехлорирования, позволяет исключить влияние на результаты дозировки белителя внешних факторов, а также упростить конструкцию оптического датчика.

Применение метода ультрафиолетовой спектрофотометрии в варочных и отбельных производствах целлюлозно-бумажной промышленности позволяет прогнозировать оптические характеристики (в том числе параметр белизны B) выходной целлюлозы, а также корректировать параметры технологического потока для оптимизации выходных оптических параметров получаемого материала.

Литература

1. Миловидова Л.А., Комарова Г.В., Королева Т.А. Отбелка целлюлозы. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 130 с.
2. Pat. US 7812947 B2. Apparatus and method for measuring and/or controlling paper pulp properties / T.T. Shakespeare (Fi), J.F. Shakespeare (Fi); Honeywell International Inc. (US). – Appl. No. 12/017,092; Filed 21.01.2008; Date of Patent 12.10.2010; Prior Publication Data 23.07.2009, US 2009/0185162 A1. – 13 p.
3. Advanced control and sensor technology in mechanical pulping [Electronic resource] / M.S. Sidhu, A. Lahouaoula, M. Schijf et al. // TAPPSA Journal. – Southern Africa, cop. 2009. – Mode of access: http://www.tapsa.co.za/archive2/Journal_papers/Advanced_control_and_sensor/advanced_control_and_sensor.html (date of access: 21.09.2010).
4. Pat. US 6273994 B1. Method and device for measuring bleach requirement, bleachability, and effectiveness of hemicelluloses enzyme treatment of pulp / B. Creber (CA), B. Foody (CA), P.J. Foody (CA) et al.; Iogen Corporation (CA). – Appl. No. 09/016,425; Filed 30.01.1998; Date of Patent 14.08.2001. – 32 p.
5. Kajaani [Electronic resource] // Metso. – Finland, cop. 2008. – Mode of access: http://www.metso.com/automation/ru/index.nsf/FR?ReadForm&ATL=/automation/ru/content_ru.nsf/WebWID/WTB-051220-22570-F05D1 (date of access: 21.09.2010).
6. ГОСТ 30113-94. Бумага и картон. Метод определения белизны. – Введ. 01.01.1997. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 1996. – 7 с.
7. Белов Н.П., Грисимов В.Н., Яськов А.Д. Лабораторный спектрометр для исследования коэффициента отражения и определения параметров цветности диффузно отражающих объектов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2010. – № 7. – С. 74–78.
8. Шерстобитова А.С. Влияние конфигурации интегрирующей сферы на фотометрическую погрешность измерения коэффициентов отражения // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 4 (74). – С. 16–19.
9. Белов Н.П., Гайдукова О.С., Панов И.А., Патяев А.Ю., Смирнов Ю.Ю., Шерстобитова А.С., Яськов А.Д. Лабораторный спектрофотометр для ультрафиолетовой области спектра // Изв. вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54. – № 5. – С. 81–87.
10. Белов Н.П., Покопцева О.К., Шерстобитова А.С., Яськов А.Д. Оптико-спектральный датчик белизны и его использование для контроля процесса хлорной отбели целлюлозы // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77. – № 4. – С. 75–79.
11. Белов Н.П., Покопцева О.К., Шерстобитова А.С., Яськов А.Д. Влияние хлорсодержащих отбеливателей на диффузное отражение света целлюлозой // Журнал прикладной спектроскопии. – 2010. – Т. 77. – № 3. – С. 470–473.
12. Белов Н.П., Шерстобитова А.С., Яськов А.Д. Диффузное отражение света целлюлозой и поглощение водных растворов остаточных лигнинов // Журнал прикладной спектроскопии. – 2011. – Т. 78. – № 1. – С. 150–152.

Белов Николай Павлович	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, старший научный сотрудник, ttoe@hotmail.ru
Прокопенко Виктор Трофимович	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, prokopenko@mail.ifmo.ru
Шерстобитова Александра Сергеевна	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, ассистент, ashev87@mail.ru
Яськов Андрей Дмитриевич	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, ttoe@hotmail.ru

УДК 535.33:543.42

ДИСТАНЦИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТИПА СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

В.А. Трофимов, М.А. Беляева

Изложены особенности волоконно-оптического способа дистанционной идентификации типа материала с использованием волоконного иттербиевого лазера, продемонстрирована возможность определения типа основных строительных материалов по спектрограммам плазменного факела, возникающего при воздействии лазерного излучения на поверхности исследуемых материалов, проанализирована возможность автоматизации процесса идентификации.

Ключевые слова: строительный материал, эмиссионный спектральный анализ, плазменный факел, идентификация, автоматизация.

Введение

Высокая энергетическая плотность лазерного излучения позволяет использовать его для таких целей, как резка, сверление, сварка, маркировка материалов и т.д. [1]. При этом указанные операции выполняются в условиях отсутствия прямого доступа к точке взаимодействия лазерного излучения с объектом. Такая ситуация типична при дистанционной обработке строительных материалов в труднодоступных местах. В этом случае может возникнуть необходимость определения типа обрабатываемого в данный момент материала, так как от этого может зависеть выбор режимов воздействия лазерного излучения на материал.

Одним из способов определения типа строительного материала, обрабатываемого лазерным излучением, может являться эмиссионный спектральный анализ плазменного факела, возникающего в зоне взаимодействия излучения с поверхностью материала. Такое исследование позволяет получить необходимую информацию о возбужденных лазерным излучением атомах и молекулах вещества. По характеру спектров и наличию тех или иных спектральных линий и полос, а также по количественному соотношению максимумов интенсивности на спектрограммах различных образцов можно судить о принадлежности исследуемого материала к соответствующему типу [2, 3].

Особый интерес представляет возможность выполнения такого рода исследований дистанционно, а также в ходе процесса обработки материала лазерным излучением.

Дистанционная лазерная спектроскопия

Для исследований использовалась волоконно-оптическая схема, представленная на рис. 1.

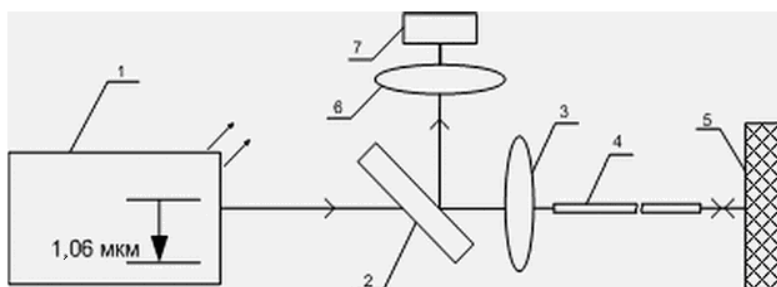


Рис. 1. Схема экспериментального комплекса: 1 – иттербиевый волоконный лазер; 2 – светоделительная пластина; 3 – линза ввода силового излучения; 4 – оптическое волокно; 5 – фрагмент материала; 6 – фокусирующая линза; 7 – спектроанализатор

Излучение, формируемое лазером 1, фокусируется линзой 3 на входной торец оптического волокна 4 и передается к поверхности строительной конструкции 5. В результате воздействия лазерного излучения в месте обработки материала наблюдается интенсивное свечение, обусловленное возникновением плазменного факела, в котором содержатся пары веществ, входящих в состав материала. Образующееся излучение, проходя обратно по волокну через линзу ввода 3 и светоделительную пластину 2, фокусируется линзой 6 с фокусным расстоянием 150 мм на щель спектроанализатора 7 типа Wavestar CCD Spectrometer, ф. Orhir, ширина щели которого составляет 5 мкм, разрешение – 0,5 нм.

В качестве источника в проведенных исследованиях использовался непрерывный иттербиевый волоконный лазер, генерирующий излучение с длиной волны 1064 нм. На поверхность материалов подавалось излучение мощностью 1 кВт и экспозицией 10 мс. Для исследований использовалось волокно длиной 30 м с кварцевой сердцевиной и кварцевой оболочкой, диаметр кварцевой сердцевины составлял 400 мкм, апертура – 0,2. Расстояние от торца волокна до поверхности материала составляло 10 мм.

Регистрация спектров испускания веществ, входящих в состав строительных материалов, осуществлялась в диапазоне 570–1100 нм в течение 1–2 с после возбуждения.

Анализ спектрограмм, усредненных по 25 измерениям для каждого образца, показал, что для исследуемых типов материалов наиболее информативным является диапазон длин волн 600–900 нм (рис. 2). В области спектра 940–1100 нм в регистрируемом сигнале наблюдается интенсивное лазерное излучение, а наиболее коротковолновая область спектра 540–600 нм характеризуется интенсивной шумовой составляющей, существенно снижающей отношение сигнал/шум.

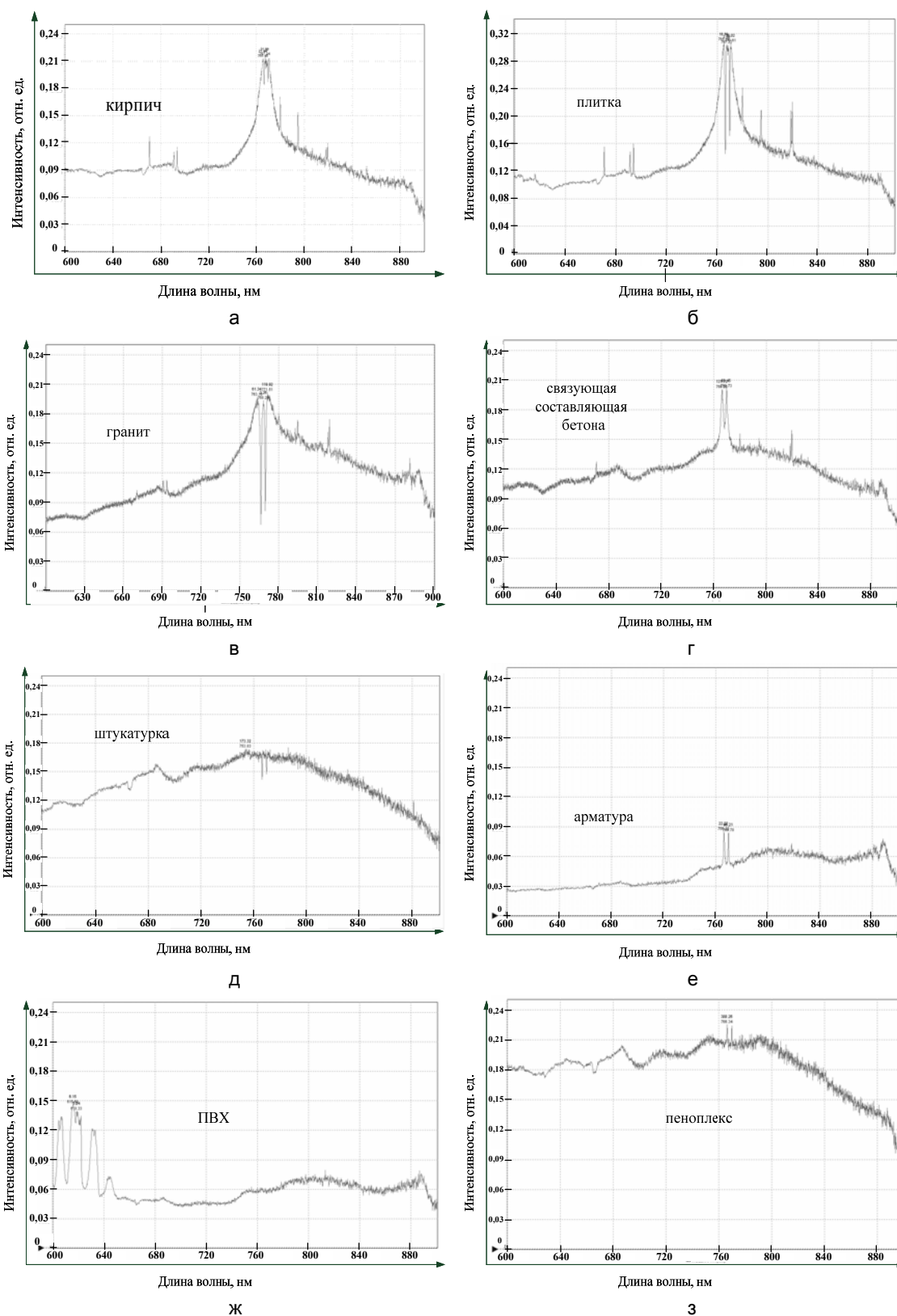


Рис. 2. Спектрограммы материалов при их обработке лазерным излучением (а–з)

Представленные результаты позволяют сделать заключение, что профили большей части приведенных спектрограмм различны и специфичны для соответствующих типов материалов, так например:

- спектрограмма арматуры (рис. 2, е) довольно малоинтенсивна;
- спектрограмма стеновой панели на основе ПВХ (рис. 2, ж) имеет характерные для этого материала спектральные полосы в районе 600–648 нм;
- в спектрограмме штукатурки (рис. 2, д) наблюдаются выраженные полосы самопоглощения в районе 764–772 нм;
- связующую составляющую бетона (рис. 2, г) можно определить по наличию линий в районе 780, 794, 819 нм;
- спектрограмма пеноплекса (рис. 2, з) отличается ярким плазменным факелом и резким убыванием интенсивности спектра в диапазоне длин волн 800–900 нм;
- кирпич, плитку керамическую и гранит (рис. 2, а–в) можно идентифицировать по соотношению интенсивности линий в районе 770, 795, 819 нм.

Таким образом, представленная выше информация позволяет сделать вывод о возможности использования дистанционного метода лазерной спектроскопии для идентификации типа строительного материала.

Автоматизация идентификации типа строительных материалов

Широкая номенклатура типов строительных материалов ставит задачу автоматизации их дистанционной идентификации. Автоматизация может способствовать как сокращению времени проведения анализа, так и снижению требований к квалификации оператора. Для автоматизации процесса определения типа материала разработано программное обеспечение, предназначенное для автоматической компьютерной обработки результатов спектрального анализа плазменного факела, возникающего в зоне обработки материала под воздействием лазерного излучения.

В основу разработанной программы положено создание базы эталонных спектрограмм материалов и сравнение с ними спектрограммы исследуемого материала по определенным критериям.

Программа содержит три основные закладки:

1. «Заполнение эталонной базы»;
2. «Просмотр и редактирование эталонной базы»;
3. «Идентификация материала».

В первой программной закладке «Заполнение эталонной базы» обеспечивается формирование библиотеки эталонных спектрограмм материалов (рис. 3). Указанная закладка позволяет создавать базы спектрограмм, характерные для различных типов материалов и полученные при определенных условиях воздействия лазерного излучения на эти материалы.

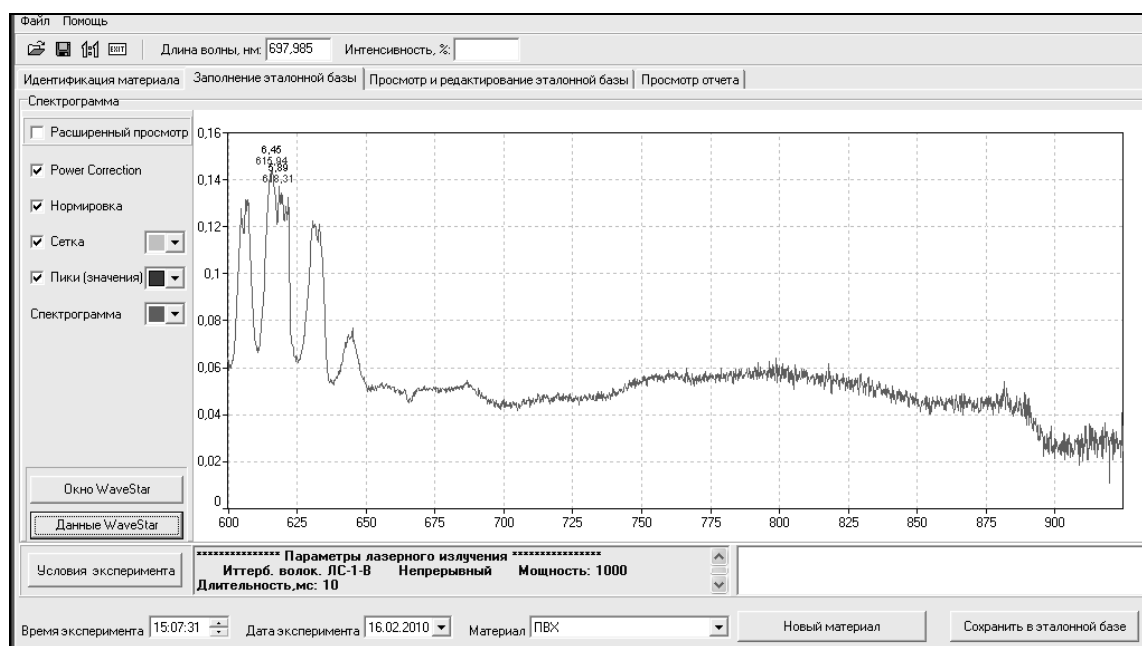


Рис. 3. Окно программы для заполнения эталонной базы (с снятой спектрограммой панели стеновой ПВХ)

Получение эталонной спектрограммы может осуществляться двумя способами:

- при помощи загрузки файла спектрограммы, ранее созданного программой и записанного в текстовом формате;
- непосредственным получением данных со спектроанализатора.

В этой закладке пользователь имеет возможность:

- просматривать спектрограмму с наложением сетки;
- просматривать спектрограмму с указанием значений пиков;
- оптимизировать отображение спектрограммы по шкале интенсивности с применением нормировки;
- разворачивать картину спектрограммы на полную страницу;
- изменять цвета спектрограммы, спектральных максимумов или сетки;
- изменять масштаб отображения спектрограммы по шкале длин волн;
- просматривать значения отдельного пика в окне на панели инструментов;
- сохранять полученную спектрограмму в базе данных совместно с условиями эксперимента, временем и датой получения, названием материала, уникальным номером спектрограммы и комментариями пользователя.

Условия проведенного эксперимента фиксируются в соответствующем окне (рис. 4), которое позволяет заполнить параметры воздействующего на материал лазерного излучения, условия, в которых происходит обработка материала, а также параметры и режимы работы спектроанализатора.

Рис. 4. Окно «Условия эксперимента»

Запись о материале, которому принадлежит полученная спектрограмма, производится в окне «Материал» (рис. 3).

Время эксперимента и дата заполнения ставятся автоматически.

В закладке «Просмотр и редактирование эталонной базы» (рис. 5), помимо функций режима «Заполнение эталонной базы», для пользователя предусмотрены следующие возможности:

- просматривать краткую характеристику условий эксперимента;
- просматривать дополнительные комментарии к данному эксперименту;
- просматривать и редактировать всю информацию об условиях получения спектрограммы;
- удалять спектрограммы после их выбора.

В режиме просмотра и редактирования эталонной базы пользователь может вызывать нужную спектрограмму, отбирая ее по следующим параметрам:

- дате получения спектрограммы;
- типу материала;
- условиям проведения эксперимента.

В третьей закладке «Идентификация материала» (рис. 6) обеспечивается сравнительный анализ исследуемой спектрограммы с эталонными, выбранными из базы данных. Выбор эталонных спектрограмм, с которыми осуществляется сравнение, проводится путем ввода условий эксперимента или по дате внесения эталонной спектрограммы в базу.

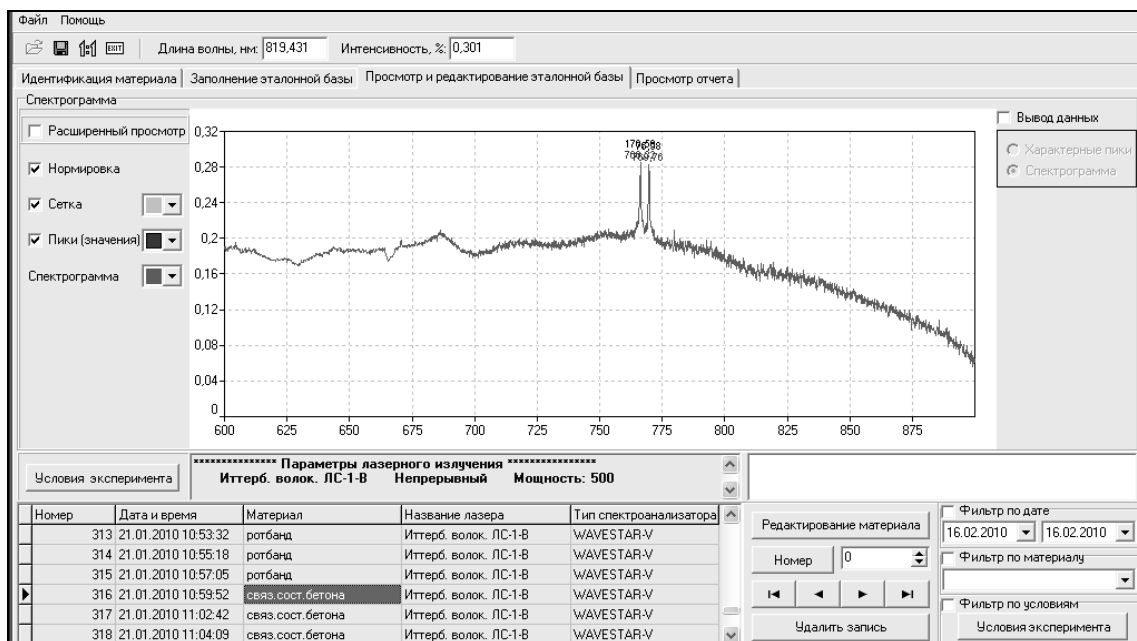


Рис. 5. Окно просмотра и редактирования базы эталонных спектрограмм

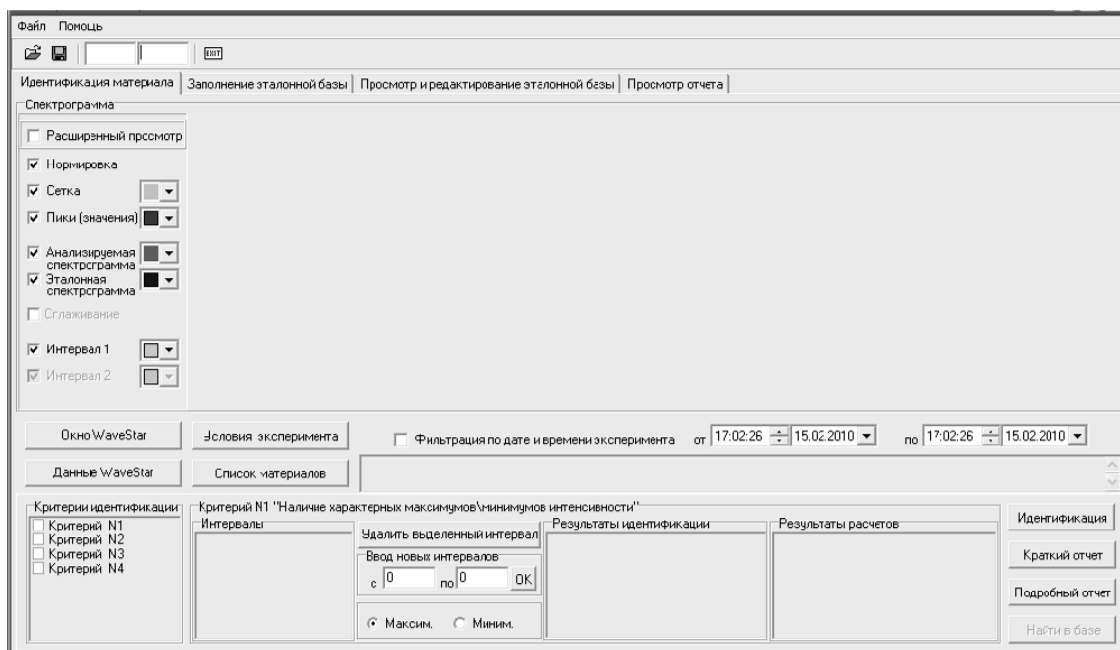


Рис. 6. Окно для идентификации материала

Для осуществления идентификации материала необходимо выполнить следующую последовательность действий.

1. Получить исследуемую спектрограмму.
2. Задать список материалов, по эталонным спектрограммам которых будет производиться идентификация. При этом выбор эталонных спектрограмм, с которыми будет проводиться сравнение, осуществляется с помощью фильтров. Спектрограммы в эталонной базе могут быть отфильтрованы как по дате и времени эксперимента, так и по условиям проведения эксперимента.
3. Указать используемые для идентификации критерии и спектральные интервалы и произвести по ним идентификацию.

Сравнительный анализ может осуществляться по четырем критериям, которые выбираются в опции «Критерии идентификации»:

- наличие характерных максимумов (минимумов) интенсивности в определенном (одном или нескольких) спектральном диапазоне (критерий №1);
- интегральному значению интенсивности в выбранном (одном или нескольких) спектральном диапазоне (критерий №2);

- отношению интегральных значений интенсивности в определенной паре (одной или нескольких) спектральных диапазонов (критерий №3);
- характеру поведения спектрограммы (убывание – возрастание) в определенном (одном или нескольких) спектральном диапазоне (критерий №4).

Программа позволяет осуществлять анализ спектрограммы и выдавать результат сравнения по каждому критерию отдельно. Результат анализа появляется в окне «Результат идентификации» и заключается в указании 10 спектрограмм (с названием материалов), которым наиболее полно соответствует полученная спектрограмма.

В процессе эксплуатации программы в эталонную базу было занесено по 25 спектрограмм для 15 материалов. После анализа спектрограмм по критериям идентификации в определенных интервалах длин волн все заложенные материалы прошли успешную идентификацию.

Заключение

В результате выполненной работы:

- установлена возможность использования волоконно-оптической технологии регистрации спектрограмм для дистанционной идентификации строительных материалов;
- разработано программное обеспечение для автоматической обработки результатов спектрального анализа плазменного факела, возникающего в зоне обработки строительного материала под воздействием лазерного излучения.

Выделим достоинства такого способа. Использование одноволоконной схемы построения эксперимента, при которой подача лазерного излучения и перенос информации о плазменном факеле к спектрометру осуществляется по одному и тому же волокну, позволяет проводить идентификацию типа материала без прерывания процесса лазерной обработки. Кроме того, данная схема исследования требует минимального дополнительного технологического оснащения (спектроанализатор, фокусирующая линза и персональный компьютер).

Развитие рассмотренного способа автоматической идентификации типа материала может быть направлено на усовершенствование пакета программного обеспечения для спектроанализатора, а также на увеличение библиотеки идентифицируемых материалов.

Литература

1. Беккер Ю. Спектроскопия. – М.: Техносфера, 2009. – 528 с.
2. Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии. – М.: Наука, 1976. – 392 с.
3. Терек Т., Мика Й., Гегуш Э. Эмиссионный спектральный анализ: В 2-х частях. – Ч. 2. – М.: Мир, 1982. – 850 с.

Беляева Мария Александровна

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, BelyaevaMarya@mail.ru

Трофимов Владимир Анатольевич

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

УДК 681.787.7

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ЩУПА ТРИГГЕРНОГО ТИПА

Е.Е. Майоров, В.Т. Прокопенко, Л.А. Ушверидзе

Предложен способ минимизации влияния спекл-модуляции в оптических щупах триггерного типа на точность измерений. Определена величина дискретности съема информации на основе измерения корреляционной функции огибающей выходного сигнала в нескольких произвольных точках поверхности объекта.

Ключевые слова: интерференционные приборы, оптический щуп, когерентно-ограниченные источники излучения, спеклы, корреляционная функция, опорное зеркало.

Введение

В настоящее время проявляется повышенный интерес к интерферометрическим приборам, в которых используются источники излучения с ограниченной длиной временной когерентности (бесконтактные оптические щупы). Приборы указанного типа имеют ряд преимуществ по сравнению с аналогичными устройствами геометрической оптики. Точность, диапазон измерений, а также расстояние до контролируемой поверхности не зависят от апертурных углов освещения и наблюдения. Когерентно-

ограниченные оптические щупы малогабаритны, удовлетворяют требованиям производственного контроля, просты в эксплуатации [1–3]. В некоторых случаях, таких, например, как исследование поверхностей биологических тканей, бесконтактные оптические щупы являются единственно возможными. Однако, несмотря на определенные успехи в использовании систем с когерентно-ограниченным излучением, остаются нерешенными некоторые вопросы их практического применения, позволяющие повысить точность и воспроизводимость бесконтактных измерений.

Постановка задачи

Рассмотрим принцип работы оптического щупа триггерного типа. Изменение контраста интерференционного поля обусловлено модуляцией разности хода вследствие перемещения измерительной головки. В общем случае при движении зондирующего излучения по поверхности объекта и наличии поперечной компоненты в плоскости регистрации происходит изменение картины спеклов (спекл-модуляция). Скорость этого изменения определяется скоростью поперечного перемещения луча по поверхности. Если увеличить скорость съема информации таким образом, что спеклы в плоскости регистрации за время одного измерения окажутся как бы «заморожены» [3], будем считать задачу решенной.

Сущность предлагаемого способа минимизации влияния спекл-модуляции на точность измерения диффузно отражающего объекта заключается в следующем: за время относительно медленного приближения измерительной головки к поверхности объекта при значительном увеличении скорости съема информации необходимо произвести несколько независимых измерений расстояния до поверхности и затем усреднить их. Для реализации предлагаемого способа вводится дополнительная модуляция разности хода за счет сканирования опорного зеркала. Требования к параметрам сканирования можно представить в виде

$$\frac{l_{oz}}{V} \ll \frac{l_t}{V_x}, \quad V \gg V_x, \quad (1)$$

где l_{oz} – амплитуда сканирования опорного зеркала по оси OZ, V – скорость сканирования опорного зеркала; l_t – расстояние, на которое смещается измерительная головка за один проход, V_x – скорость изменения оптической длины объектного плеча, V_x – скорость поперечного смещения зондирующего пятна по поверхности объекта. При выполнении этих условий, во-первых, за один проход измерительной головки удастся произвести несколько независимых измерений, во-вторых, во время одного измерения спеклы в плоскости регистрации окажутся «заморожены».

Исходя из условий (1), необходимо сформулировать требования к техническим параметрам оптического щупа и решить вопрос о количественном соотношении между скоростями V_x и V , чтобы предлагаемый способ привел к увеличению точности измерений при требуемом диапазоне измерений.

Для решения поставленных вопросов были проведены экспериментальные исследования. Цель эксперимента состояла в определении допустимой скорости поперечного смещения поверхности объекта при фиксированных частоте колебаний параллелограммного механизма (2 кГц) и скорости сканирования опорного зеркала (400 мм/с). В качестве критерия оценки достижения положительного эффекта применялась величина среднеквадратического отклонения (СКО) расстояния до поверхности объекта.

Результаты исследования оптического щупа триггерного типа

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Диффузно отражающий объект 1 установлен на параллелограммном механизме 2. Колебания механизма возбуждаются генератором 3. Движение объекта происходит вдоль оси X. Измерение расстояния до объекта производится оптическим щупом 4. Для вычисления СКО проводилось 20 независимых измерений.

Важное условие проведения эксперимента – обеспечение идентичности положений объекта и его скорости для каждого из 20 измерений. С этой целью применен датчик скорости 5, состоящий из электромагнитной катушки и постоянного магнита, закрепленного на параллелограммном механизме. Компаратор 6 позволяет выделять моменты времени, соответствующие максимальной скорости движения объекта $V_{x, \max}$. В эти моменты компаратор формирует разрешающий сигнал для выдачи информации оптическим щупом. Таким образом, измерение расстояния до объекта производится в моменты максимальной скорости его движения. Поскольку движение объекта происходит по гармоническому закону,

$$x = x_m \sin 2\pi \nu t,$$

оценка максимальной скорости производится по амплитуде колебаний параллелограммного механизма:

$$V_{x, \max} = \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} = 2\pi x_m \nu,$$

где x_m – амплитуда механических колебаний; ν – частота колебаний. Изменение скорости движения объекта задавалось изменением амплитуды выходного напряжения генератора. Параметры эксперимента: скорость перемещения опорного зеркала $V = 400$ мм/с; длительность выходного сигнала τ_1 по уровню 0,1 = 50 мкс; размер зондирующего пятна $d = 40$ мкм; частота колебаний параллелограммного механизма $\nu = 23$ Гц.

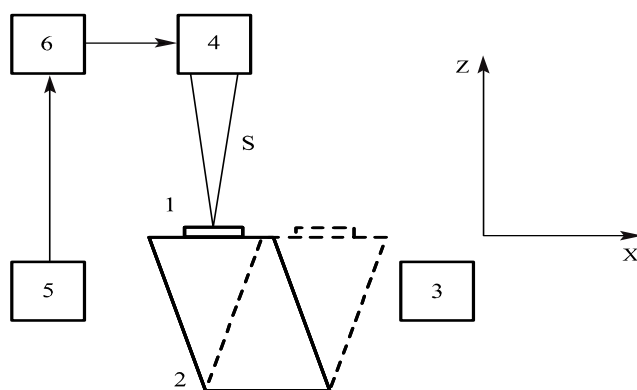


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – объект; 2 – параллелограммный механизм; 3 – возбуждающий генератор; 4 – оптический щуп; 5 – датчик скорости; 6 – компаратор; S – зондирующий пучок

На рис. 2 представлена полученная зависимость СКО измерений расстояния до объекта σ_z от скорости движения объекта $V_{x, \max}$. Видно, что поперечное смещение поверхности относительно щупа практически не сказывается на точности измерений до скорости порядка 60 мм/с. Поскольку при проведении эксперимента скорость перемещения опорного зеркала оставалась неизменной, можно сделать вывод, что при скорости поперечного смещения объекта, равной 60 мм/с, нижний предел скорости сканирования опорного зеркала (скорости модуляции оптической разности хода) составляет 400 мм/с.

На практике более полезной является зависимость $\sigma_z = \sigma_z(\varepsilon_\tau)$ (рис. 2, б), где величина ε_τ равна отношению величины смещения зондирующего пятна за время одного измерения τ_1 к размеру пятна d :

$$\varepsilon_\tau = \frac{V_{x, \max} \tau_1}{d}.$$

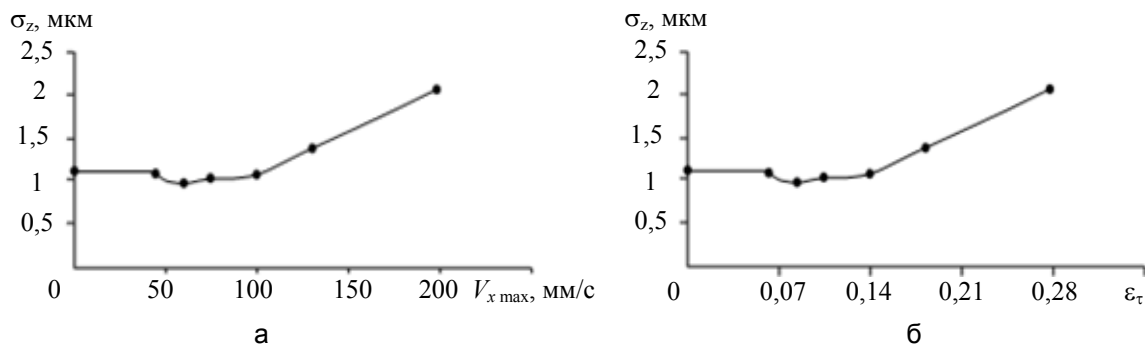


Рис. 2. Результаты исследования зависимости СКО измерений расстояния до объекта от скорости поперечного смещения поверхности объекта относительно щупа (а) и относительного смещения зондирующего пятна за время одного измерения (б) при фиксированной скорости сканирования опорного зеркала

Для обеспечения независимости серии измерений с последующим усреднением их результатов поставлена задача определения их временного шага. С этой целью определена корреляционная функция [2–4]

$$R(\Delta x) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} U(x, \Delta z) U(x + \Delta x, \Delta z) d\Delta z}{\int_{-\infty}^{\infty} U^2(x, \Delta z) d\Delta z},$$

где $U(x, \Delta z)$ – огибающая выходного сигнала; Δx – шаг измерений. Для определения средней величины $R(\Delta x)$ величины $U(x_i, \Delta z)$ и $U(x_i + \Delta x, \Delta z)$ для каждого значения Δx снимались в десяти произвольных точках поверхности объекта x_i .

Результаты измерений для различных углов падения зондирующего излучения представлены на рис. 3. Видно, что отдельные измерения можно считать независимыми, если при смещении объекта в поперечном направлении измерения проводить с шагом 7–10 мкм.

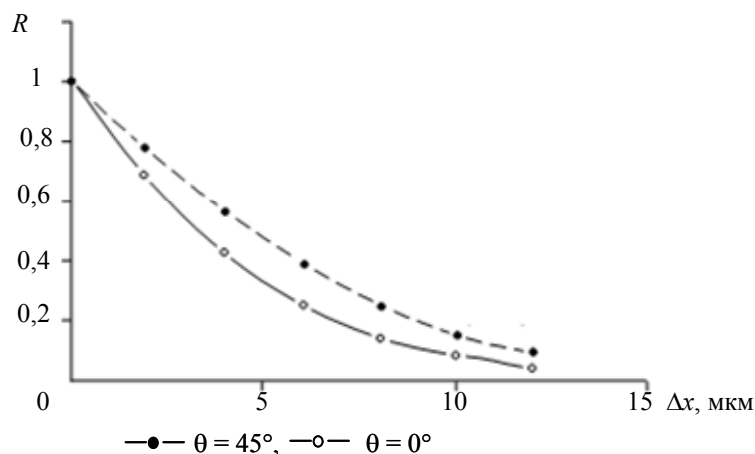


Рис. 3. Зависимость корреляционной функции измерения расстояния до объекта от поперечного смещения объекта Δx при различных углах падения θ зондирующего излучения

Заключение

Получены результаты, имеющие практическое значение при использовании щупа триггерного типа для бесконтактных измерений. Определены дискретность измерений и граница допустимой скорости движения контролируемой поверхности при динамических измерениях.

Литература

1. Гуров И.П., Ли Ган. Интерферометрические методы и устройства контроля смещений негладких поверхностей. I. Методы и устройства с регистрацией неподвижных интерференционных картин // Оптика и спектроскопия. – 1998. – Т. 84. – № 1. – С. 129–138.
2. Большаков О.П., Котов И.Р., Майоров Е.Е., Хопов В.В. Исследование оптического щупа с частично когерентным источником излучения // Научное приборостроение. – 2003. – Т. 13. – № 2. – С. 47–51.
3. Майоров Е.Е. Теоретический анализ точности измерения формы диффузно отражающего объекта с помощью интерферометра с источником ограниченной когерентности // Современные технологии: Труды молодых ученых СПбГУ ИТМО. – 2001. – С. 61–63.
4. Hausler G., Lindner M.W. Coherence radar and spectral radar – new tools for dermatological diagnosis // F.Biomed. Opt. – 1998. – V. 3. – № 1. – P. 21–31.

<i>Майоров Евгений Евгеньевич</i>	– Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, кандидат технических наук, доцент, majorov_ee@mail.ru
<i>Прокопенко Виктор Трофимович</i>	– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, prokopenko@mail.ifmo.ru
<i>Ушверидзе Лариса Александровна</i>	– Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, кандидат технических наук, доцент, larisha6@yandex.ru

УДК 621.746

ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

В.И. Маслов, А.И. Арустамян, В.Ф. Минаков

Выполнены экспериментальные исследования спектральных характеристик отражения объекта позиционирования (ковша с расплавленным металлом) спектрофотометром фирмы X-Rite (Швейцария), доказана возможность представления спектральной характеристики линейно-гармоническими функциями при обеспечении метрологического класса точности.

Ключевые слова: качество, поршневые кольца, спектральная характеристика.

Введение. Постановка задачи

Жесткая конкуренция на мировых и внутренних рынках продукции машиностроения требует повышения качества выпускаемых отечественным производством изделий. Мировые лидеры машиностроения после глобального кризиса 2008 г. ориентируются на перманентное внедрение инновационных решений, в том числе – технологических. Именно такой подход позволяет им обеспечивать высокое качество продукции, а соответственно – ее конкурентоспособность. Для достижения стабильности показателей качества продукции на предприятиях машиностроения внедряется система всеобщего управления

качеством (TQM, Total Quality Management). В этой связи актуальным становится обоснование и принятие оптимальных решений по совершенствованию управления качеством продукции с целью снижения себестоимости ее производства на каждом конкретном предприятии и производстве.

Объектом исследования является машиностроительная продукция – поршневые кольца, широко применяемые в двигателях внутреннего сгорания автомобилей, тракторов и т.д. Развитие производств машиностроительной продукции приобретает особую актуальность в связи с вступлением России в ВТО. Для машиностроительной промышленности самым массовым способом получения заготовки деталей является литье из чугуна, стали, цветных металлов. Важнейшей технологической операцией в процессе изготовления отливок является заливка расплавленного металла в заливочные формы. От эффективности управления процессом заливки в части обеспечения стабильности требуемых параметров (температуры, скорости заливки, высоты струи металла), в конечном счете, зависит качество продукции и ее себестоимость.

В существующей технологии литья заготовок поршневых колец соблюдение требуемых параметров заливки (высота струи расплавленного металла, весовая скорость заливки) производится заливщиком металла путем органолептического контроля (визуально), что вносит человеческий фактор в технологический процесс. В зависимости от физического и эмоционального состояния заливщика находится и стабильность параметров заливки. В частности, при изготовлении поршневых колец требуемая высота струи заливаемого металла от кромки верхней опоки до носка ковша с расплавленным металлом составляет 225 мм (с допуском отклонений в 25 мм). При отклонении высоты позиционирования ковша в сторону повышения происходит разрушение струей металла песчаной формы, засасывание воздуха окружающей атмосферы, вытекание заливаемого металла из заформованной стопки, что, в конечном итоге ведет к получению некачественной или даже дефектной продукции.

Если же высота струи меньше требуемой величины, то давление заливаемого металла в формы недостаточно, результатом чего являются дефекты, неспаи, газовые раковины, неметаллические включения в виде частиц песчаной формы. Такая нестабильность технологического процесса также негативно сказывается на качестве продукции и ее себестоимости.

На рис. 1 представлен процесс позиционирования ковша при литье металла и органолептическом его контроле на основе восприятия органами зрения заливщика с превышением допустимой высоты. Виден характерный дефект – разрушение заливочной формы и вытекание металла.



Рис. 1. Завышенное позиционирование ковша с металлом относительно заливочной формы и ее разрушение

Задачи управления параметрами производственных процессов методами дистанционного неразрушающего контроля состава, наличия, позиционирования деталей, узлов, машин, материалов и других объектов являются весьма распространенными. Такой контроль является неотъемлемой частью конвейерных производств, а также систем управления движущимися и удаленными объектами, механическое воздействие контактными датчиками на которые исключено по технологическим условиям (температурным для расплавленных металлов, прочностным для высокотехнологичных производств микроэлектроники, габаритным для нанотехнологий и т.п.).

Для решения поставленной задачи выполнен анализ известных способов дистанционного контроля спектральных характеристик объектов в технологических процессах [1, 2]. Он позволил установить, что существующие технологические решения основаны на регистрации спектральных характеристик, т.е. измерении зависимостей интенсивности отраженных сигналов (или излучений) от длины волны в диапазоне от 200–400 до 800–1000 нм. Такой способ позволяет решать поставленную задачу, однако стоимость спектрографов, спектрометров, спектрофотометров, позволяющих измерять интенсивность спектров

столь высока, что затраты на их приобретение и установку в технологических процессах делает производство экономически неэффективным, а продукцию – неконкурентоспособной и неликвидной.

Задача настоящей работы – совершенствование системы управления качеством производства поршневых колец (для снижения его себестоимости) методом оптического контроля позиционирования ковша с расплавом при заливке форм.

Метод решения задачи

Предлагается более экономичный способ представления спектральных характеристик объектов и характеристик чувствительности датчиков. Для обоснования способа было выполнено измерение интенсивности отраженного оптического сигнала для образца (объекта, выполненного из чугуна) – рис. 2. Экспериментальные измерения проведены спектрофотометром производства швейцарской фирмы X-Rite, модель Colormunki, с использованием программной оболочки DispCal GUI под управлением ОС Windows.

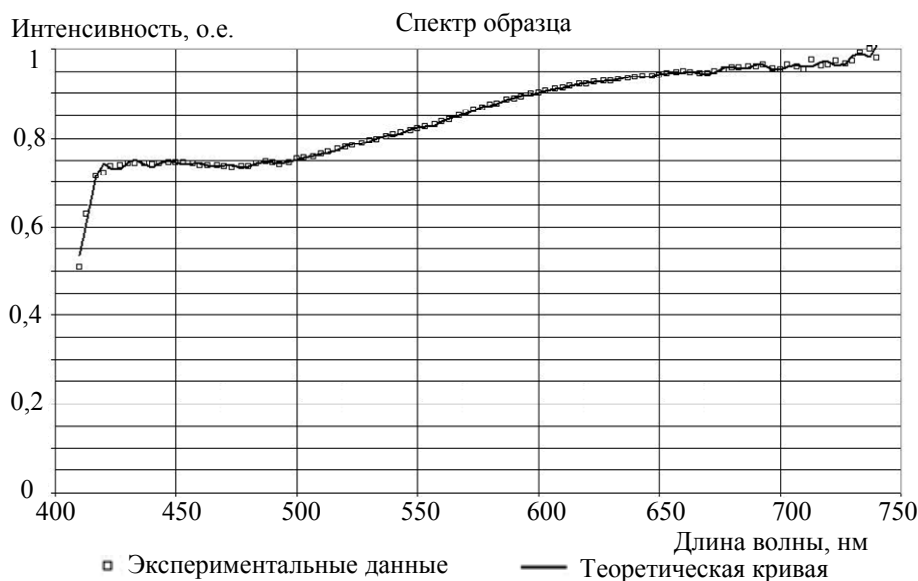


Рис. 2. Разложение спектральной характеристики образца в линейно-гармонический ряд

Спектральную характеристику $f_3(\lambda)$ предлагается представлять результатами разложения в ряд Фурье. Однако, учитывая несовпадение значений интенсивности отражения в начале и в конце диапазона длин волн ($\lambda_{\min}$, $\lambda_{\max}$), дополнительно предлагается введение линейной функции длины волны с коэффициентом $b = [f_3(\lambda_{\max}) - f_3(\lambda_{\min})] / (\lambda_{\max} - \lambda_{\min})$.

После вычитания такой линейной функции из экспериментальных данных спектра объекта $f_3(\lambda)$ получаем отвечающую условиям Дирихле функцию

$$f_{3,n}(\lambda) = f_3(\lambda) - b\lambda,$$

которую можно представить гармоническим рядом Фурье в функции от аргумента x на периоде 2π , соответствующем интервалу $\lambda_{\max} - \lambda_{\min}$:

$$x = \omega \lambda = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\lambda - \lambda_{\min}}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}, \quad f(x) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_{k'} \cdot \cos kx + a_{k''} \cdot \sin kx,$$

$$\text{где } a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cdot dx; \quad a_{k'} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cdot \cos(kx) \cdot dx \quad k = 1, 2, \dots; \quad a_{k''} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cdot \sin(kx) \cdot dx, \quad k = 1, 2, \dots$$

Аналогичное разложение спектральных характеристик чувствительности датчиков (например, фотодиодов), позволяет производить их выбор по критерию допустимости погрешности:

$$a_{k'} - a_{k',\text{д}} < \varepsilon, \quad a_{k''} - a_{k'',\text{д}} < \varepsilon,$$

где ε – допустимая для конкретной задачи идентификации погрешность.

Практическая реализация

Для доказательства применимости предложенного способа исследована зависимость погрешности аппроксимации спектра линейно-гармоническими рядами в функции от количества используемых членов ряда Фурье (таблица). Постоянная составляющая ряда Фурье составляет 0,61468 относительных единиц (о.е.) при нормировании интенсивности отраженного спектра к единичному значению при его максимуме. Тангенс угла наклона линейной компоненты равен $b=0,0014346$.

Результаты таблицы позволяют сделать важные выводы. Представление спектральных характеристик объектов совокупностью сотен пар табличных данных может быть заменено одной парой параметров линейной аппроксимирующей функции и одной парой амплитуд гармонических составляющих с погрешностью не более 4%. Такой способ может применяться для метрологических задач, так как обеспечивает погрешность, достаточную для измерительных приборов. Кроме того, увеличение числа учитываемых гармоник до 6 обеспечивает класс точности измерения спектральных характеристик не более 1 (с приведенной погрешностью до 1%), до 11 гармоник – с погрешностью 0,5%.

На рис. 3 представлены оптическая схема и технологическое решение системы автоматизированного контроля высоты расположения заливочного ковша [3]. Контроль основан на регистрации излучения поверхности расплавленного металла по спектральной характеристике и управлении полученной информацией световым табло – линейкой светодиодов [4]. Датчики наиболее близкого спектра к спектру излучения расплавленного металла размещаются на уровне требуемого положения ковша при заливке из него расплава в стопки заливочных форм – на высоте 200 мм от кромки воронки верхней стопки, что обеспечивает контроль высоты струи в диапазоне 200–250 мм. В горизонтальной плоскости оптимальное расстояние крепления устройства дистанционного контроля от ковша составляет 300–400 мм. При меньшем расстоянии возникает опасность попадания брызг расплавленного металла с температурой 1430°C на датчики. При большем расстоянии снижается чувствительность системы контроля. Светодиоды индикации расположены на той же панели. Дискретность расположения датчиков и индикаторов по высоте составляет 20 мм, что вполне достаточно для позиционирования ковша на высоте 200–250 мм от стопки заливочных форм.

Рассчитана экономическая эффективность инновационной системы контроля розлива металла. По сравнению с органолептическим контролем положения ковша и управления его позиционированием автоматизированный контроль обеспечивает снижение потерь от нарушения целостности форм и снижение числа бракованных заготовок. Для программ производства колец, выпускаемых ОАО «Ставропольский завод поршневых колец – СТАПРИ», экономический эффект составляет 100000 руб. в год для наименее металлоемких изделий и 1000000 руб. в год для наиболее металлоемких.

Число гармоник ряда Фурье	Амплитуды гармоник		Средняя погрешность, %
	косинусоидальной	синусоидальной	
1	–0,036694854	–0,007544815	3,96
2	–0,006895065	–0,041405260	2,52
3	0,025988274	–0,000127576	1,87
4	–0,001988306	0,019622916	1,34
5	–0,012935454	–0,001251574	1,15
6	0,000315431	–0,010941673	0,91
7	0,008287900	0,001011139	0,80
8	–0,000775432	0,006722954	0,76
9	–0,006636308	–0,001216115	0,70
10	0,000889407	–0,006536407	0,60
11	0,005433259	0,000836082	0,50
12	–0,000551821	0,003558956	0,47
13	–0,003157161	–0,000936825	0,45
14	0,001267087	–0,003209484	0,44
15	0,003650987	0,001018170	0,40
16	–0,001075222	0,002485946	0,38
17	–0,002099956	–0,001005920	0,42
18	0,000865523	–0,003021130	0,43
19	0,003362577	0,000630892	0,39
20	–0,001186640	0,002683981	0,37
21	–0,002037598	–0,001332573	0,37
22	0,001264398	–0,002396875	0,38
23	0,002941593	0,001179685	0,45
24	–0,001501723	0,002730271	0,38
25	–0,002271678	–0,001139593	0,36

Таблица. Погрешности разложения спектральной характеристики

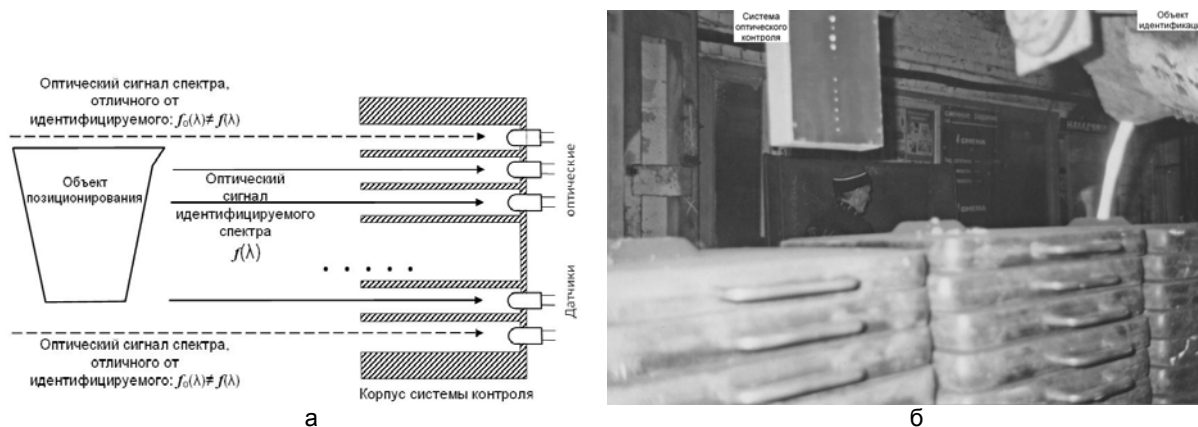


Рис. 3. Схема (а) и технологическое решение (б) оптического контроля положения заливочного ковша

Заключение

В системе контроля и управления качеством производства поршневых колец разработана и практически реализована инновационная технология дистанционного контроля положения заливочного ковша, основанная на формализации представления спектра его отражения линейной функцией и рядом Фурье. Это позволило на практике сократить число параметров, характеризующих объект контроля и датчики, обеспечить метрологический класс точности представления спектральных характеристик и стабильность параметров заливки металла, а соответственно – характеристик изготавливаемой продукции, т.е. повышение качества продукции. Снижение брака обеспечивает экономический эффект от 100000 до 1000000 руб. в год для изготавливаемых заводом «СТАПРИ» поршневых колец.

Литература

1. Минаков В.Ф., Арустамян А.И. Устройство для контроля положения ковша с расплавленным металлом. Патент РФ на полезную модель № 69233. Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ 10.12.2007. Приоритет от 25.04.2006.
2. Назаров В.Н., Соколов Ю.А. Исследование схемы дифракционного контроля положений объектов с изменяющимся масштабом спектра Фурье // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 1 (71). – С. 6–9.
3. Пилипенко Н.В. Сенсоры нестационарной теплотметрии и их математические модели // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 3 (73). – С. 53–56.
4. Минаков В.Ф., Арустамян А.И. Технология контроля положения ковша при розливе металла // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 4 (64). – С. 72–78.

Маслов Владимир Иванович – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, vimaslov@tu.neva.ru
Арустамян Арам Иванович – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, аспирант, arustam@inbox.ru
Минаков Владимир Федорович – Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов, доктор технических наук, профессор, m-m-m-m@mail.ru

УДК 535.8, 57.087, 681.787

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ

И.П. Гуров, А.Х. Киракозов

Выполнен сравнительный анализ двух методов восстановления томографических изображений в спектральной оптической когерентной томографии: стандартного метода, основанного на обратном преобразовании Фурье, и метода логарифмического преобразования. Показаны преимущества метода логарифмического преобразования, заключающиеся в получении изображений более высокого качества за счет устранения искажений, вносимых сопутствующими неинформативными составляющими интерферометрических сигналов в спектральной оптической когерентной томографии.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография, метод логарифмического преобразования.

Введение

Исследования внутренней микроструктуры различных объектов неразрушающими методами имеют важное значение для биомедицины и материаловедения. В последние годы получили активное развитие методы оптической когерентной томографии (ОКТ) [1, 2], обеспечивающие наиболее высокое разрешение (в настоящее время – до долей микрометра) при восстановлении томографических изображений, которые представляют трехмерную внутреннюю микроструктуру неоднородных сред на глубине проникновения оптического излучения со значительным диффузным рассеянием.

Основной частью систем ОКТ является двухлучевой интерферометр с освещением от источника излучения с широким спектром. Расстояние до внутреннего слоя исследуемого объекта определяется оптической разностью хода между предметной и опорной волнами в интерферометре. Как известно, в оптическом интерферометре регистрируется суммарная интенсивность предметной и опорной волн, поэтому информация об исследуемом объекте, заключенная в амплитуде и фазе отраженной предметной волны, доступна в «закодированном» виде в поле интерференции, и для извлечения полезной информации требуется обработка интерферометрических данных.

Существуют два основных вида методов ОКТ, определяемых особенностями получения и обработки данных: во временной области и в спектральной области. При реализации методов ОКТ во временной области сканирование объекта по глубине осуществляется при помощи управляемого механического перемещения опорного отражателя и регистрации значений огибающей интерферометрического сигнала при условии нулевой разности хода в интерферометре, характеризующих степень отражения излучения по глубине исследуемой среды. В ОКТ в спектральной области нет необходимости в перемещении опорного отражателя, поскольку требуемые данные регистрируются и извлекаются вычислительными методами одновременно для всех слоев среды, что является существенным преимуществом для повышения быстродействия систем ОКТ.

В последующих разделах работы рассмотрены особенности методов формирования и обработки данных в ОКТ в спектральной области (спектральной ОКТ), которые обеспечивают восстановление томографических изображений внутренней микроструктуры многослойных и случайно-неоднородных сред.

Метод обратного преобразования Фурье

В спектральной интерферометрии регистрируют интерферометрические сигналы, пропорциональные значениям интенсивности [3]

$$I(k) = G(k) \left| a_R \exp(-j2kr) + \int_0^L a(z) \exp\{-j2k[r + n(z)z]\} dz \right|^2, \quad (1)$$

где $G(k)$ – спектр источника излучения; a_R – амплитуда опорной волны; $j = \sqrt{-1}$; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, определяемое длиной волны λ ; $2r$ – оптическая длина пути опорной волны; $a(z)$ – амплитуда предметной волны, отраженной на глубине z в исследуемом образце в диапазоне глубин L ; $n(z)$ – изменение показателя преломления по глубине среды. Полезная информация содержится в значениях $a(z)$, характеризующих степень отражения предметной волны по глубине исследуемой среды, которые необходимо определить в результате обработки полученных значений $I(k)$. В результате нормировки выражения (1) относительно спектра источника излучения и в предположении отсутствия дисперсии в среде (т.е. $n(z) = 1$) интерферометрический сигнал в спектральной ОКТ определяется в области волновых чисел формулой

$$S(k) = \left| 1 + \int_0^{\infty} a(z) \exp(-jkz) dz \right|^2. \quad (2)$$

Стандартный метод вычисления искомой амплитуды предметной волны $a(z)$ состоит в применении обратного преобразования Фурье к значениям $S(k)$. Обозначим через $A(k)$ интеграл под модулем в выражении (2). В результате разложения $A(k)$ на вещественную и мнимую части, $A(k) = x + jy$, получим

$$\begin{aligned} S(k) &= |1 + A(k)|^2 = |1 + x + jy|^2 = 1 + 2x + x^2 + y^2 = \\ &= 1 + (x^2 + y^2) + (x + jy) + (x - jy) = 1 + |A(k)|^2 + A(k) + A^*(k), \end{aligned} \quad (3)$$

где $A^*(k)$ – комплексно сопряженная величина. Применив обратное преобразование Фурье к выражению (3), получим

$$s(z) = \delta(z) + r_{aa}(z) + a(z) + a(-z), \quad (4)$$

где $\delta(z)$ – дельта-функция; $a(z)$ – искомая функция распределения коэффициента отражения по глубине; $a(-z)$ – ее зеркальное (мнимое) отображение; $r_{aa}(z)$ – автокорреляционная функция распределения коэффициента отражения по глубине среды. Из (4) видно, что применение метода преобразования Фурье к данным вида (2) требует рассмотрения трех сопутствующих компонентов в сигнале $s(z)$, помимо искомой функции $a(z)$.

Первое слагаемое в (4) легко устраняется, поскольку дельта-функция $\delta(z)$ имеет ненулевое значение только при $z = 0$, поэтому следует использовать значения $s(z)$ при $z > 0$. При правильной настройке томографа, когда начало оси координат соответствует значению $z = 0$ на границе (поверхности) образца, слагаемые $a(z)$ и $a(-z)$ можно разделить так, что $a(z)$ относится к положительной области оси координат (внутри образца), а $a(-z)$ – к отрицательной области. Таким образом, следует использовать только полезные значения на положительной полуоси при $z > 0$, тем самым устранив неинформативные значения $a(-z)$ на отрицательной полуоси. Однако оставшееся автокорреляционное слагаемое, $r_{aa}(z)$, в (4) может вносить существенные искажения в получаемое томографическое изображение.

Метод логарифмического преобразования

В работе [4] рассматривается новый метод обработки данных в спектральной ОКТ, который учитывает тот факт, что амплитуда предметной волны, отраженной от объекта, обычно намного меньше, чем амплитуда опорной волны. В спектральной области с учетом выражения (2) это соответствует условию $|A(k)| \ll 1, \forall k$. При этом, взяв логарифм от обеих частей в выражении (2), получим

$$\log(S(k)) = \log(1 + A(k)) + \log(1 + A^*(k)) = A(k) + O(A^2(k)) + A^*(k) + O(A^{*2}(k)), \quad (5)$$

где $O(\cdot)$ обозначает малую величину. Вследствие того, что область определения функции $a(z)$ находится на положительной полуоси координаты z , величины $A(k)$ и $A^n(k)$ для $n = 2$ в правой части выражения (5) обладают каузальной инверсией, соответствующей известному принципу причинности. Симметричным образом, $A^*(k)$ и $A^{*n}(k)$ обладают антикаузальной инверсией. Это означает, что метод логарифмического преобразования позволяет разделить сигнал на каузальную и антикаузальную части и выделить полезную каузальную часть. Таким образом, чтобы найти величину $\log(1 + A(k))$ в (5), необходимо вначале применить к левой части этого выражения обратное преобразование Фурье и, как рассмотрено выше, обнулить часть, относящуюся к отрицательной области оси координат ($z < 0$), и затем выполнить прямое преобразование Фурье. После операции потенцирования, вычитания единицы и повторного обратного преобразования Фурье получаем искомую функцию $a(z)$ без сопутствующих ложных составляющих в (4).

Метод логарифмического преобразования в форме вычислительного псевдокода представлен ниже. Алгоритм принимает на вход значения сигнала $S(k)$ и обеспечивает восстановление функции $a(z)$ методом логарифмического преобразования.

Алгоритм. Восстановление томограмм методом логарифмического преобразования.
Дано: Массив значений интенсивности S .

```
1: for z = 0..length(S)-1
2:   logSz <- log(Sz)
3:   invLogS <- IFFT(logS)
4: for z = length(S)/2..length(S)-1
5:   invLogSz <- 0
```

```

6: logA <- FFT(invLogS)
7: for z = 0..length(logA)-1
8:   Az <- exp(logAz)-1
9: r <- IFFT(A)
10: return Re(r)

```

В строках 1–3 вычисляется логарифм от значений сигнала S , после чего применяется обратное преобразование Фурье. Согласно (5), это позволяет разделить сигнал на две независимые части. В строках 4–5 часть, принадлежащая отрицательной области оси координат, отбрасывается. Для получения величины $\log(1 + A(k))$ применяется прямое преобразование Фурье (строка 6). Далее, чтобы восстановить исходный сигнал, необходимо провести комплексное потенцирование (строки 7–8) и еще раз применить обратное преобразование Фурье (строка 9). В строке 10 получаем действительную часть сигнала, соответствующую искомой функции $a(z)$.

Сравнение методов обработки данных в спектральной ОКТ

Для демонстрации преимуществ метода логарифмического преобразования вначале был использован модельный сигнал, определяемый выражениями

$$a(z) = \varepsilon[3\cos(z/7) + \cos(z/9)], z = 0, \dots, 511;$$

$$a(z) = 0, z = 512, \dots, 1023, \quad (6)$$

где ε – коэффициент масштабирования, позволяющий изменять величину сигнала. Отметим, что сигнал (6) каузален, т.е. соответствует принципу причинности, поскольку его значения в области отрицательных значений независимой переменной z (соответствующей значениям части дискретной последовательности $z = 512, \dots, 1023$) равны нулю.

На рис. 1 приведены зависимости среднего квадратического отклонения (СКО) восстановленных значений сигнала от модельных как функции от коэффициента масштабирования ε . Значения СКО выражены в единицах 8-битного представления данных (256 уровней). Из графиков видно, что влияние автокорреляционного слагаемого $r_{aa}(z)$ в (4) приводит к квадратичному возрастанию СКО стандартного метода обратного преобразования Фурье при увеличении параметра ε , тогда как СКО метода логарифмического преобразования возрастает линейно.

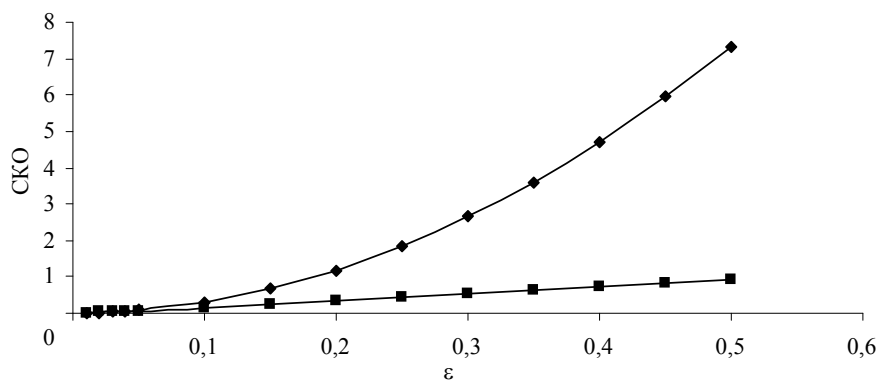


Рис. 1. Значения СКО восстановленных сигналов: ♦ – метод преобразования Фурье; ■ – метод логарифмического преобразования

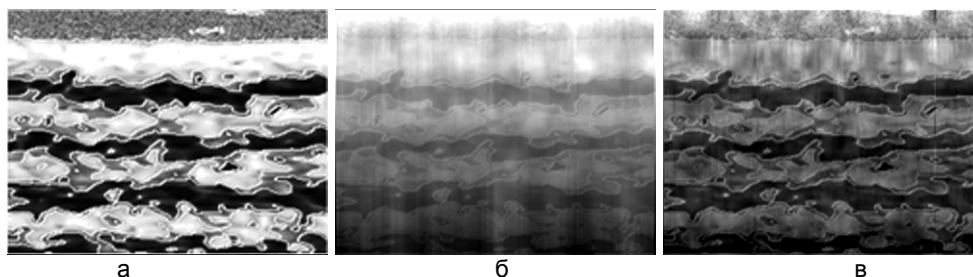


Рис. 2. Исходная томограмма свиной кожи (а), томограмма, восстановленная методом обратного преобразования Фурье (б) и томограмма, восстановленная методом логарифмического преобразования (в). Формат изображений 334×256 пикселей

Метод логарифмического преобразования был исследован также применительно к двумерным сигналам в ОКТ. В качестве тестового образца была взята томограмма свиной кожи [5] (рис. 2, а).

Для каждого столбца данных в томограмме в соответствии с формулой (2) вычисляли значения сигнала спектральной интерференции $S(k)$. После этого независимо для каждого столбца восстанавливали функцию $a(z)$ методом обратного преобразования Фурье и методом логарифмического преобразования. На рис. 2 иллюстрируются полученные результаты. Из рисунков видно, что использование метода обратного преобразования Фурье приводит к значительным искажениям восстановленного изображения. Метод логарифмического преобразования позволяет устранить влияние ложных составляющих в (4) и восстановить исходную томограмму с существенно более высоким качеством. Отличия в яркости изображений (рис. 2, а, в) обусловлены нелинейностью логарифмического преобразования и не снижают информативности томограмм.

Заключение

В работе проведен сравнительный анализ двух методов восстановления томографических изображений в спектральной ОКТ: стандартного метода, основанного на обратном преобразовании Фурье, и метода логарифмического преобразования. Приведенные результаты демонстрируют, что при больших значениях исходного сигнала автокорреляционные артефакты, присутствующие в стандартном методе, ведут к существенным искажениям восстановленного изображения, тогда как метод логарифмического преобразования позволяет устранить искажения и повысить качество восстановленных томограмм в спектральной ОКТ. Следует отметить, что повышение качества изображений достигается за счет более высокой вычислительной сложности алгоритма обработки интерферометрических данных, поскольку в методе логарифмического преобразования используются три операции преобразования Фурье. Повышение вычислительной мощности современных компьютерных систем позволяет преодолеть указанный недостаток и обеспечивает возможность использования метода логарифмического преобразования в практических разработках систем спектральной ОКТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Гуров И.П. Оптическая когерентная томография: принципы, проблемы и перспективы // Проблемы когерентной и нелинейной оптики / Под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. – С. 6–30.
2. Tomlins P.H., Wang R.K. Theory, developments and applications of optical coherence tomography // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2005. – V. 38. – P. 2519–2535.
3. Häusler G., Lindner M.V. «Coherence radar» and «Spectral radar» – new tools for dermatological diagnostics // J. Biomed. Opt. – 1998. – V. 3. – P. 21–31.
4. Sekhar S.C., Leitgeb R.A., Bachmann A.H., Unser M. Logarithmic transformation technique for exact signal recovery in frequency-domain optical-coherence tomography // Proc. SPIE. – 2007. – V. 6627. – P. 662714–1.
5. Boer J., Srinivas S., Malekafzali A., Chen Z., Nelson J. Imaging thermally damaged tissue by polarization sensitive optical coherence tomography // Optics Express. – 1998. – V. 3. – № 6. – P. 212–218.

Гуров Игорь Петрович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, gurov@mail.ifmo.ru

Кирикозов Александр Христофорович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, kirakozov@rain.ifmo.ru

УДК 535.417 + 681.787

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ЦИФРОВОЙ ФУРЬЕ-ГОЛОГРАММЫ В УСЛОВИЯХ ПРЕВЫШЕНИЯ ЧАСТОТЫ НАЙКВИСТА

К.А. Гребенюк, А.А. Гребенюк, В.П. Рябухо

Проведено экспериментальное исследование особенностей регистрации цифровых безлинзовых внеосевых Фурье-голограмм в условиях превышения несущей частотой голограммной структуры частоты Найквиста. Показано, что превышение несущей частотой голограммной структуры частоты Найквиста ведет не к исчезновению изображения, а к постепенному уменьшению его интенсивности, что свидетельствует о снижении дифракционной эффективности голограммы.

Ключевые слова: цифровая голография, Фурье-голограмма, голограммная структура, пространственный спектр, частота Найквиста.

Введение

Цифровые оптические методы, основанные на принципе внеосевой голографии, находят широкое применение при анализе динамических фазовых объектов, в первую очередь, объектов медико-биологических исследований *in vivo* [1–5]. Одно из основных ограничений этих методов связано с отно-

сительно низкой пространственной частотой пиксельной структуры матричных фотодетекторов (МФД), используемых для регистрации голограммы. В литературе указывается, что записываемое МФД распределение интенсивности оптического поля не должно содержать пространственных частот, превышающих частоту Найквиста, равную половине пространственной частоты расположения пикселей МФД [6–8]. Однако при этом не рассматривается вопрос о свойствах голограмм, записанных в условиях превышения частоты Найквиста.

При проектировании оптической схемы записи цифровых голограмм удовлетворение критерию Найквиста может быть затруднительно. В связи с этим значительный интерес представляет исследование вопроса о возможности восстановления изображения с цифровой голограммы, записанной с нарушением критерия Найквиста. В настоящей работе исследована возможность восстановления изображения объекта с цифровых безлинзовых Фурье-голограмм, записанных в условиях, когда частота несущей голограммной структуры превышает частоту Найквиста.

Теоретический анализ

Интенсивность монохроматического оптического поля в плоскости регистрации голограммы определяется известным выражением

$$I(x, y) = I_R(x, y) + I_S(x, y) + H_S(x, y) + H_S^*(x, y), \quad (1)$$

$$I_R(x, y) = U_R(x, y)U_R^*(x, y), \quad I_S(x, y) = U_S(x, y)U_S^*(x, y),$$

$$H_S(x, y) = U_S(x, y)U_R^*(x, y), \quad H_S^*(x, y) = U_S^*(x, y)U_R(x, y),$$

где $U_S(x, y)$, $U_R(x, y)$ – распределения комплексных амплитуд объектного и опорного полей в плоскости регистрации. В выражении (1) слагаемое $I_S(x, y)$ описывает распределение интенсивности объектного поля, которое в рассматриваемом случае рассеивающего объекта имеет спекл-модулированный характер. Далее будем называть распределение $I_S(x, y)$ спекл-структурой. Слагаемое $H_S(x, y) + H_S^*(x, y)$ описывает систему полос, возникающих в результате интерференции объектной и опорной волн и обеспечивающих голографическую запись объектной волны. Будем называть каждое из распределений $H_S(x, y)$ и $H_S^*(x, y)$ голограммной структурой. Под несущей частотой голограммной структуры будем понимать среднюю частоту ее пространственного спектра.

Запись цифровой голограммы заключается в регистрации набора дискретных отсчетов $(I(x, y))_D$ пространственного распределения интенсивности $I(x, y)$. Этот набор дискретных отсчетов $(I(x, y))_D$ называют цифровой голограммой. Восстановление изображения в случае безлинзовой голографии Фурье сводится к вычислению двумерного дискретного преобразования Фурье цифровой голограммы $(I(x, y))_D$. В этом случае квадрат модуля Фурье-образа цифровой голограммы не только является ее пространственным спектром мощности, но и содержит восстановленные изображения объекта – прямое и комплексно сопряженное.

Фурье-образ $F\{(I(x, y))_D\}$ цифровой голограммы $(I(x, y))_D$ можно представить в виде

$$F\{(I(x, y))_D\} = G_{DC} + G_H + G_H^*, \quad (2)$$

$$G_{DC} = F\{(I_R(x, y))_D\} + F\{(I_S(x, y))_D\},$$

$$G_H = F\{(H_S(x, y))_D\}, \quad G_H^* = F\{(H_S^*(x, y))_D\}.$$

Фурье-образы G_H и G_H^* голограммных структур $H_S(x, y)$ и $H_S^*(x, y)$ представляют собой комплексные амплитуды полей восстановленных изображений объекта – прямого и сопряженного, а квадраты их модулей $|G_H|^2$ и $|G_H^*|^2$ – соответствующие изображения объекта.

Во внеосевой цифровой голографии вопрос о соотношении максимальной частоты пространственного спектра голограммы и частоты Найквиста делится на две составляющие:

1. соотношение ширины пространственного спектра голограммной структуры и частоты Найквиста (ширина пространственного спектра голограммной структуры при записи безлинзовой Фурье-голограммы определяется угловой апертурой объекта);
2. соотношение несущей частоты голограммной структуры и частоты Найквиста (несущая частота голограммной структуры определяется углом между основным направлением из центра МФД на объект и направлением из центра МФД на опорный источник).

Ширина пространственного спектра голограммной структуры не должна превышать частоту Найквиста, поскольку в противном случае может произойти наложение положительных и отрицательных высокочастотных частей компонент G_H и G_H^* Фурье-образа цифровой голограммы, а также их перекрытие с низкочастотной компонентой G_{DC} . Таким образом, дискретизация голограммной структуры, вносимая МФД, накладывает ограничения на угловой размер объекта, голографическое изображение которого может быть записано.

Вопрос о соотношении несущей частоты голограммной структуры и частоты Найквиста более сложен. Теоретический анализ данного вопроса требует учета свойств не только дискретного преобразования Фурье, но и свойств МФД, в частности, конечного размера его регистрирующих элементов. В связи с этим наиболее эффективным методом исследования здесь представляется натуральный эксперимент.

Экспериментальное исследование

Схема проведенного эксперимента представлена на рис. 1. Несущая частота голограммной структуры изменялась путем смещения объекта в плоскости, параллельной плоскости регистрации (и, соответственно, путем изменения углового расстояния θ между объектом и опорным источником). Для каждого положения рассеивающего объекта на ПЗС-матрицу записывалась голограмма. Далее для каждой цифровой голограммы вычислялся квадрат модуля ее Фурье-образа, который, как указано выше, не только представлял собой пространственный спектр мощности голограммы, но и содержал восстановленные изображения объекта.

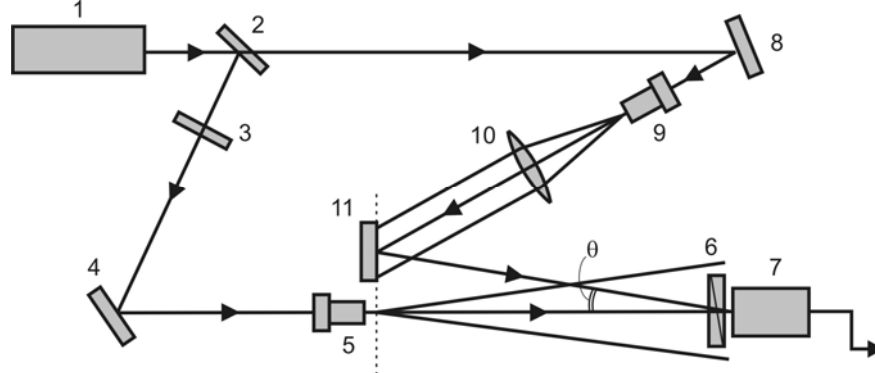


Рис. 1. Экспериментальная схема записи цифровых безлинзовых Фурье-голограмм: 1 – гелий-неоновый лазер; 2 – делитель; 3 – нейтральный светофильтр; 4, 8 – зеркала; 5, 9 – микрообъективы; 6 – поляризационный фильтр; 7 – ПЗС-камера; 10 – собирающая линза; 11 – исследуемый рассеивающий объект (круг с изображением буквы «F»)

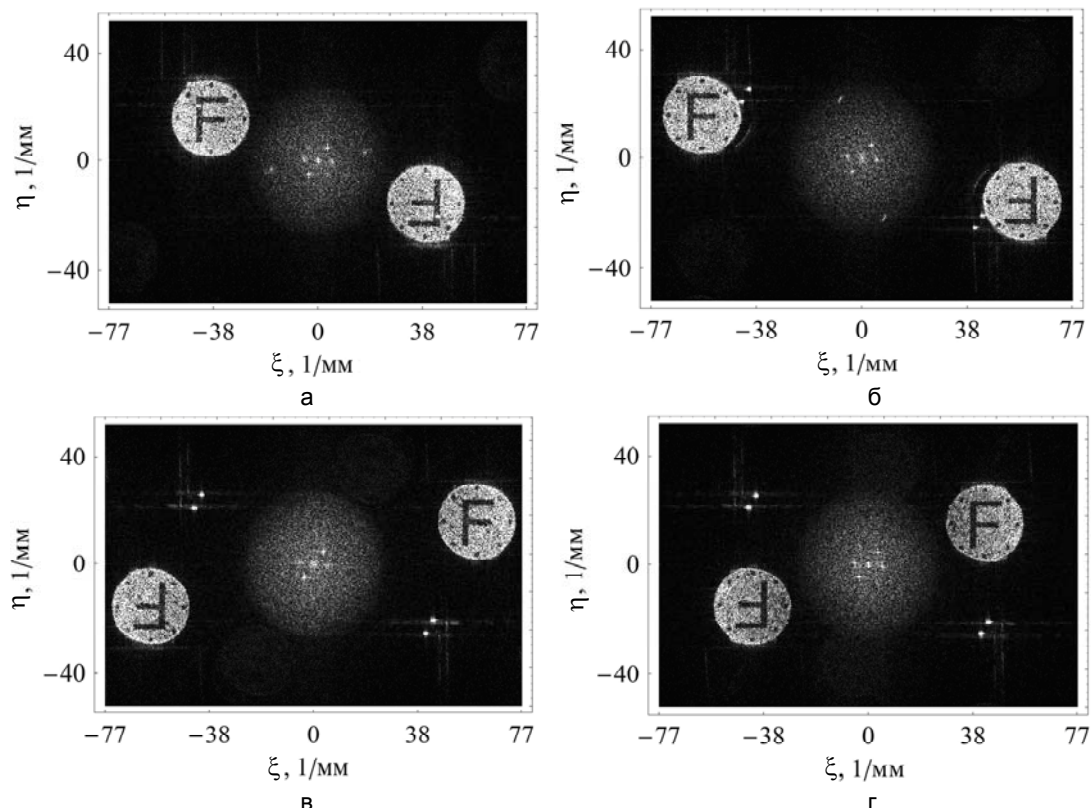


Рис. 2. Пространственные спектры мощности экспериментальных цифровых Фурье-голограмм, записанных при различных значениях углового расстояния θ между центром объекта и опорным источником: $\theta=1,45$ град (а); $\theta=2,08$ град (б); $\theta=3,33$ град (в); $\theta=3,96$ град (г)

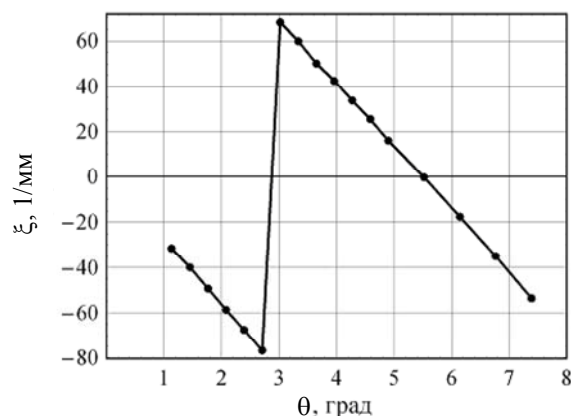


Рис. 3. Экспериментальная зависимость пространственно-частотного положения ξ изображения объекта $|G_H|^2$ в спектре мощности голограммы от углового расстояния между центром объекта и опорным источником θ . Угловое расстояние, соответствующее равенству несущей частоты голограммной структуры частоте Найквиста, составляет 2,79 град

На рис. 2 представлены пространственные спектры мощности голограмм, записанных в условиях, удовлетворяющих критерию Найквиста (рис. 2, а, б), и голограмм, для которых несущая частота голограммной структуры превышает частоту Найквиста (рис. 2, в, г). Из рис. 2, в, г, видно, что, даже когда несущая частота голограммной структуры превышает частоту Найквиста, изображение объекта может быть восстановлено, однако интенсивность его ниже, чем в случаях, когда критерий Найквиста выполняется. Таким образом, если ширина пространственного спектра G_H голограммной структуры удовлетворяет критерию Найквиста и позволяет избежать наложения комплексно сопряженных компонент G_H и G_H^* (2), а также низкочастотной компоненты G_{DC} , то изображение объекта $|G_H|^2$ можно наблюдать и в условиях превышения несущей частотой голограммной структуры частоты Найквиста.

На рис. 3 представлена зависимость пространственно-частотного положения ξ изображения объекта $|G_H|^2$ в пространственном спектре мощности голограммы от углового расстояния θ между центром объекта и опорным источником. При превышении несущей частотой голограммной структуры частоты Найквиста происходит «зацикливание» положения изображения объекта $|G_H|^2$: пространственно-частотное положение изображения $|G_H|^2$ претерпевает скачок, равный по величине удвоенной частоте Найквиста, и затем, с дальнейшим увеличением несущей частоты, постепенно возвращается к своему прежнему значению (рис. 3). Комплексно-сопряженное изображение объекта $|G_H^*|^2$ проявляет аналогичные свойства.

Заключение

Экспериментально показано, что восстановление изображения объекта с цифровой внеосевой Фурье-голограммы возможно в условиях превышения несущей частотой голограммной структуры частоты Найквиста. При этом для визуализации объекта необходимо, чтобы пространственная структура объектного поля разрешалась матричными фотодетекторами так, чтобы в Фурье-образе голограммы было возможно разделение дифракционного гало, прямого и сопряженного изображений объекта. Получена экспериментальная зависимость положения спектра мощности голограммной структуры, представляющего собой изображение объекта, в пространственном спектре мощности голограммы от углового расстояния между центром объекта и опорным источником. Полученные результаты показывают, что в случаях, когда конструктивные особенности схемы не позволяют обеспечить достаточно малый угол между направлениями из матричных фотодетекторов на объект и на опорный источник, можно использовать схему с превышением несущей частотой голограммной структуры частоты Найквиста. При этом нужно иметь в виду, что при превышении частоты Найквиста фактически происходит уменьшение дифракционной эффективности голограммы и, как следствие, уменьшение интенсивности восстанавливаемого изображения.

Работа выполнена при поддержке ГК 14.740.12.08.41 «Проведение поисковых НИР в целях развития общероссийской мобильности в области физики и астрономии».

Литература

1. Kemper B., von Bally G., Pavesi L., Fauchet P.M. Coherent laser measurement techniques for medical diagnostics // Biophotonics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. – P. 151–175.

2. Гуров И.П. Компьютерная фотоника: принципы, проблемы и перспективы // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2005. – Вып. 21. – С. 5–20.
3. Marquet P., Rappaz B., Magistretti P.J., Cuche E., Emery Y., Colomb T., Depeursinge C. Digital holographic microscopy: a noninvasive contrast imaging technique allowing quantitative visualization of living cells with subwavelength axial accuracy // Optics Letters. – 2005. – V. 30. – № 5. – P. 468–470.
4. Bernhardt I., Ivanova L., Langehanenberg P., Kemper B., von Bally G. Application of digital holographic microscopy to investigate the sedimentation of intact red blood cells and their interaction with artificial surfaces // Bioelectrochemistry. – 2008. – № 73. – P. 92–96.
5. Langehanenberg P., Ivanova L., Bernhardt I., Ketelhut S., Vollmer A., Dirksen D., Georgiev G., von Bally G., Kemper B. Automated three-dimensional tracking of living cells by digital holographic microscopy // Journal of biomedical optics. – 2009. – V. 14. – № 1. – P. 014018-1–014018-7.
6. Schnars U., Jueptner W. Digital holography. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. – 164 p.
7. Балтийский С.А., Гуров И.П., Де Никола С., Коппола Д., Ферраро П. Современные методы цифровой голографии // Проблемы когерентной и нелинейной оптики / Под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. – С. 91–117.
8. Горбатенко Б.Б., Гребенюк А.А., Максимова Л.А., Перепелицына О.А., Рябухо В.П. Спекл-фотография и голографическая интерферометрия с цифровой записью дифракционного поля в Фурье-плоскости // Компьютерная оптика. – 2010. – Вып. 34. – № 1. – С. 69–81.

Гребенюк Константин Александрович – Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского, кандидат физ.-мат. наук, доцент, KonstantinAG@yandex.ru
Гребенюк Антон Александрович – Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского, аспирант, GrebenyukAA@yandex.ru
Рябухо Владимир Петрович – Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского, доктор физ.-мат. наук, профессор, gvp-optics@yandex.ru

УДК 535.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛЫХ СМЕЩЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИИ

В.Г. Гендин

Представлены результаты исследования точности определения малых смещений поверхности объектов методом цифровой голографии. Рассматривается процесс регистрации цифровых голограмм и восстановления фазовой информации из голограмм. Сравнивается точность определения нормальных смещений поверхности объекта при использовании двух методов устранения нулевого порядка дифракции с последующим вычислением фазы предметной волны.

Ключевые слова: цифровая голография, восстановление изображений, устранение нулевого порядка дифракции.

Введение

Формирование и анализ изображений трехмерных объектов – актуальная задача в различных областях науки и техники. При этом особенно важно получение количественных оценок геометрических характеристик исследуемых объектов. Известно, что наиболее высокую точность определения геометрических характеристик обеспечивают интерферометрические методы. Однако методы классической интерферометрии применимы только к объектам с оптически гладкими поверхностями и относительно малыми отклонениями от правильной геометрической формы. Исследования объектов произвольной формы с интерферометрической точностью возможны при использовании голографических методов, в том числе методов цифровой голографии [1, 2]. Отличительная особенность голографических методов состоит в том, что голограмма содержит полную информацию об оптическом поле предметной волны, при этом из голограммы можно извлечь всю необходимую фазовую и амплитудную информацию о предметной волне, характеризующей объект.

В настоящей работе представлены результаты исследования точности определения малых смещений поверхности объектов методами цифровой голографии при записи цифровых голограмм с использованием интерферометра Майкельсона. При этом задача устранения нежелательного нулевого порядка дифракции решается двумя методами: с помощью фильтрации высоких частот в голограмме и с использованием метода управляемого фазового сдвига, когда для определения смещения поверхности записываются две или более голограмм в различных положениях объекта и далее проводится восстановление информации об изменениях фазы предметной волны.

Запись цифровых голограмм с использованием интерферометра Майкельсона

Запись голограмм в цифровой голографии осуществляется посредством регистрации с помощью видеокамеры суммы предметной волны, отраженной от объекта, и опорной волны. Для реконструкции

изображения из голограммы используются вычислительные методы, позволяющие определить значения амплитуды и фазы предметной волны [1, 2].

Запись цифровых голограмм можно осуществить с использованием схемы, представленной на рис. 1.

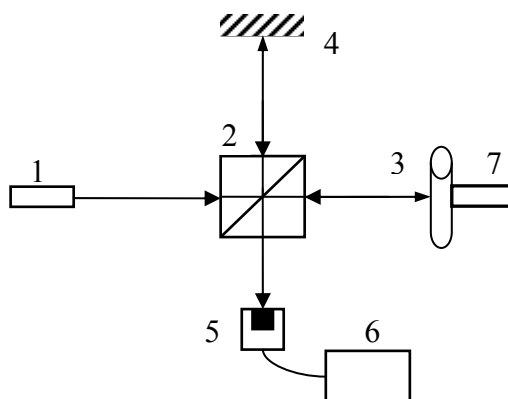


Рис. 1. Схема интерферометра Майкельсона для записи цифровых голограмм: 1 – лазерный источник; 2 – светоделитель; 3 – исследуемый объект; 4 – опорное зеркало; 5 – ПЗС-видеокамера; 6 – вычислительная система; 7 – пьезоэлектрический преобразователь

Излучение лазерного источника 1 при помощи светоделителя 2 разделяется на предметную волну, освещающую исследуемый объект 3, и опорную волну, которая отражается от зеркала 4. Голограмма регистрируется при помощи видеокамеры 5. Реконструкция трехмерного изображения из голограммы выполняется в вычислительной системе 6.

Опорное зеркало 4 закреплено на площадке с микрометрическими винтами, которые позволяют задавать угол между направлениями распространения опорной и предметной волн для реализации вне-осевой записи голограмм. Это необходимое условие для точного восстановления амплитудной и фазовой информации, так как в обычной осевой голограмме нулевой порядок дифракции, действительное и мнимое изображения наложены друг на друга, что затрудняет выделение мнимого изображения, характеризующего объект. Объект 3 закреплен на пьезоэлектрическом преобразователе 7, который позволяет задавать малые смещения объекта. При проведении экспериментов использовалась ПЗС-видеокамера 5 с выделением полезной области размером 320×240 пикселей. В качестве источника излучения использовали стабилизированный He-Ne лазер 1 с длиной волны 632 нм.

Пример голограммы объекта, полученной с использованием описанной схемы, представлен на рис. 2. Как отмечено выше, голограмма содержит полезную информацию о мнимом изображении объекта и две неинформативные составляющие, обусловленные наличием нулевого порядка дифракции и изображения-двойника (действительного изображения). Для выделения полезной информации из цифровой голограммы используются различные методики и вычислительные алгоритмы, рассматриваемые далее.

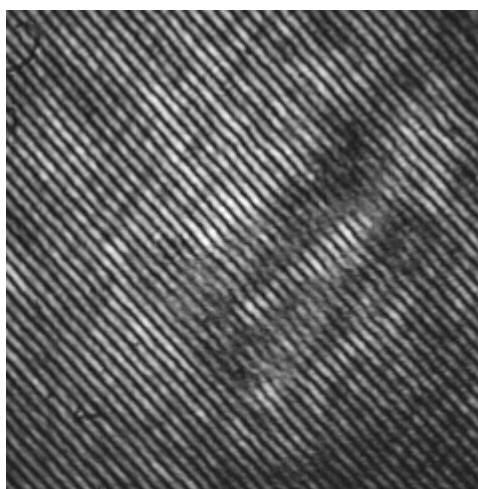


Рис. 2. Голограмма нерассеивающего объекта (5×5 мм)

Восстановление изображений из голограммы

Восстановленное дифрагированное поле в плоскости записи голограммы на расстоянии d от плоскости голограммы описывается интегралом Рэлея–Зоммерфельда [1, 2]

$$Q(\xi, \eta) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left(i d \frac{2\pi}{\lambda}\right) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R(x, y) I(x, y) \exp\left[i \frac{\pi}{\lambda d} [(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2]\right] dx dy, \quad (1)$$

где ξ, η – координаты в плоскости изображения; x, y – координаты в плоскости голограммы; λ – длина волны; d – расстояние от плоскости голограммы до плоскости изображения; $R(x, y)$ – комплексная амплитуда опорной волны; $I(x, y)$ – распределение интенсивности в плоскости голограммы. Интеграл (1) в цифровой голографии интерпретируется как двумерное преобразование Фурье опорной волны, объектной волны и квадратичной фазовой функции пространственного распространения волны:

$$Q(\xi, \eta) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left(i \frac{2\pi d}{\lambda}\right) \exp\left(i \frac{\pi}{\lambda d} (\xi^2 + \eta^2)\right) \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R(x, y) I(x, y) \exp\left(i \frac{\pi}{\lambda d} (x^2 + y^2)\right) \exp\left(-\frac{2\pi}{\lambda d} (\xi x + \eta y)\right) dx dy. \quad (2)$$

Выражение (2) можно представить в форме

$$Q(v_\xi, v_\eta) = \frac{1}{i\lambda d} \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} d\right) \exp\left[i\pi\lambda d (v_\xi^2 + v_\eta^2)\right] \times \mathfrak{F}^{+1}[R(x, y) I(x, y) w(x, y)], \quad (3)$$

где $\mathfrak{F}^{+1}[R(x, y) I(x, y) w(x, y)]$ – прямое преобразование Фурье; v_ξ, v_η – пространственные частоты, соответствующие координатам в плоскости изображения (ξ, η),

$$v_\xi = \frac{\xi}{\lambda d}, \quad (4)$$

$$v_\eta = \frac{\eta}{\lambda d}. \quad (5)$$

Из формул (4) и (5) видно, что пространственные частоты зависят от длины волны и расстояния между плоскостями.

В цифровой голографии требуется выполнение критерия Найквиста, а именно, на каждый период наивысшей пространственной частоты в голограмме должны приходиться не менее двух отсчетов, т.е. светочувствительных ячеек (пикселей) оцифрованного изображения. Кроме этого, размер пикселя Δx ограничивает допустимое значение максимального угла $\alpha_{\max}$ при интерференции сферических вторичных волн от каждой точки объекта и опорной волны согласно условию

$$\alpha_{\max} = \frac{\lambda}{2\Delta x}.$$

Точное восстановление распределения амплитуды и фазы объектной волны достигается только при условии соблюдения ограничения на расстояние d согласно соотношению

$$d \geq d_c = \frac{N\Delta x}{\lambda},$$

где N – количество пикселей в видеокамере (для координаты x). При $d = d_c$ возможно точное восстановление не только амплитуды, но и фазы, при этом размер пикселя восстановленного изображения равен размеру пикселя голограммы.

В настоящей работе при записи голограмм соблюдалось ограничение на значение максимального угла при внеосевой записи голограммы, а восстановление проводилось для расстояния $d = 27$ см, рассчитанного в соответствии с приведенными выше формулами и обеспечивающего точное восстановление фазы предметной волны.

Определение малых смещений поверхности объекта

Для определения малого нормального смещения поверхности объекта достаточно записать две голограммы (в исходном и конечном состоянии). При этом восстанавливаются фазы обеих голограмм с использованием соотношения

$$\varphi(\xi, \eta) = \arctg\left(\frac{\text{Im}(Q(\xi, \eta))}{\text{Re}(Q(\xi, \eta))}\right),$$

после чего вычисляются изменения фазы

$$\Delta\varphi(\xi, \eta) = \varphi_2(\xi, \eta) - \varphi_1(\xi, \eta).$$

Величина смещения в единицах длины определяется по очевидной формуле

$$\Delta d = \frac{\lambda}{4\pi} \Delta\varphi.$$

Для точного определения фазы предметной волны нужно вначале выделить информацию о минимуме изображении, а для этого, прежде всего, необходимо устранить нулевой порядок дифракции.

Устранение нулевого порядка дифракции

В работе исследовались два метода устранения нулевого порядка дифракции – с помощью фильтрации высоких частот и с использованием метода управляемого фазового сдвига.

Поскольку нулевой порядок дифракции – это непродифрагировавшая на низкочастотных участках голограммы волна, то устранить нулевой порядок дифракции можно путем подавления низких частот в голограмме. Изображение восстанавливается из голограммы без нулевого порядка дифракции в результате фильтрации в исходной голограмме высоких частот с малой частотой среза.

В методе фазового сдвига [1, 2] регистрируют три или более голограмм, смещенных относительно друг друга по фазе, для каждого состояния объекта. В настоящей работе использовался известный квадратурный алгоритм с записью четырех голограмм, сдвинутых относительно друг друга по фазе на $\pi/2$. Разность фаз задавалась пьезоэлектрическим преобразователем 7 (рис. 1). При этом набор голограмм можно представить в виде

$$\hat{I}(x, y) = (1/4R^*)\{I(x, y; \alpha = 0) - I(x, y; \alpha = \pi) + i[I(x, y; \alpha = \pi/2) - I(x, y; \alpha = 3\pi/2)]\}, \quad (6)$$

где значок * обозначает комплексно-сопряженную величину, и полученные в (6) значения подставляются в правую часть формулы (3) вместо величины $I(x, y)$.

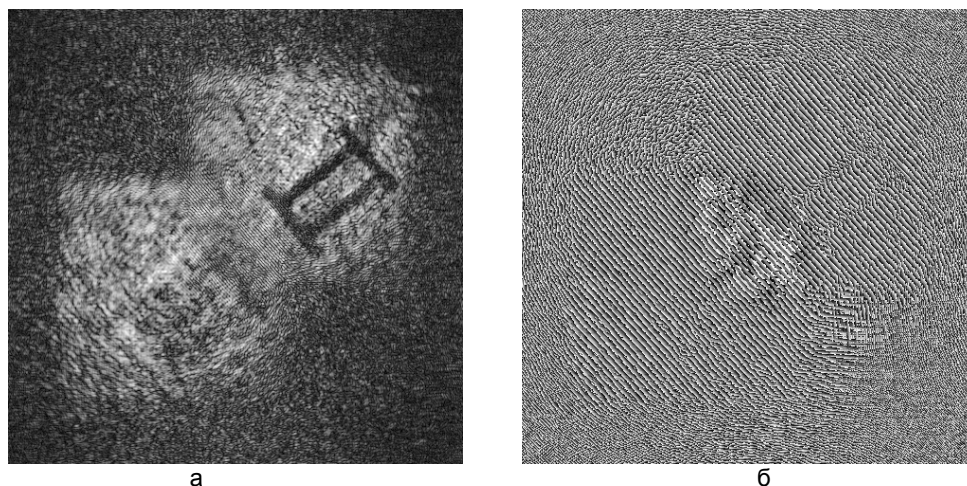


Рис. 3. Результат восстановления амплитуды предметной волны (а) и фазы предметной волны (б).
Размер изображений 10×10 мм

На рис. 3 представлен пример восстановления амплитуды и фазы предметной волны без нулевого порядка дифракции из голограммы (рис. 2). Объект представляет собой металлическую пластинку с вытравленным на ней символом (в виде римской цифры II).

Экспериментальное исследование точности определения малых смещений объекта

В схеме (рис. 1) с помощью пьезоэлектрического преобразователя 7 задавали малые смещения объекта и определяли эти смещения по изменениям фаз – с использованием рассмотренных выше методов при устранении нулевого порядка дифракции путем фильтрации высоких частот и с помощью метода фазового сдвига. Смещение задавалось в диапазоне 5–150 нм с шагом 10 нм. Погрешность позиционирования пьезоэлектрического преобразователя составляет 0,3 нм, т.е. пренебрежимо мала по сравнению с задаваемыми смещениями.

На рис. 4, 5 представлены графики зависимости отклонения измеренных значений смещения от заданных значений для двух методов устранения нулевого порядка дифракции. При этом рассчитанное смещение представлено как среднее значение смещения по всей плоскости объекта.

Из графиков следует, что среднее квадратическое отклонение (СКО) определения смещения для различных методов различно: для метода с использованием фильтрации СКО полученных смещений от заданных оно составляет 3,3 нм, а для метода фазового сдвига – 2,3 нм. Таким образом, метод цифровой голографии позволяет определять смещения поверхности объекта с погрешностью в единицы нанометров, что соответствует интерферометрической точности. Различные значения погрешностей при разных смещениях объясняются воздействием внешних факторов, таких как микровибрации. Точность измерений можно дополнительно повысить при обеспечении требуемой стабильности оптической схемы и устранении влияния внешних факторов.

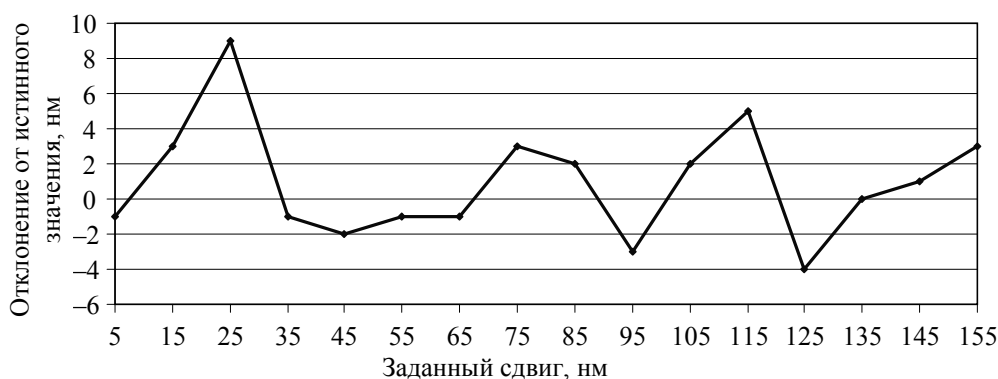


Рис. 4. График зависимости отклонения величины смещения от заданного значения при устранении нулевого порядка дифракции методом фильтрации высоких частот

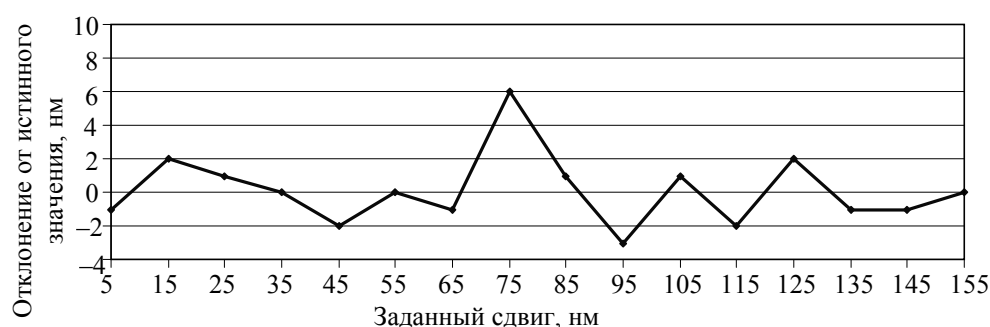


Рис. 5. График зависимости отклонения величины смещения от заданного значения при устранении нулевого порядка дифракции методом фазового сдвига

Заключение

Проведенные исследования показали, что метод цифровой голографии позволяет определять геометрические характеристики объектов с погрешностью в единицы нанометров. Применение метода фильтрации высоких частот и метода фазового сдвига для устранения нулевого порядка дифракции дают сопоставимые по точности результаты. Метод фильтрации высоких частот более прост в реализации. Однако метод фазового сдвига обеспечивает несколько более высокую точность, несмотря на необходимость записи и обработки нескольких голограмм, т.е. проведения более длительного эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Schnars U., Jueptner W. Digital Holography: Digital hologram recording, numerical reconstruction, and related techniques. – Berlin: Springer-Verlag, 2005. – 164 с.
2. Балтийский С.А., Гуров И.П., Де Никола С., Коппола Д., Ферраро П. Современные методы цифровой голографии // Проблемы когерентной и нелинейной оптики. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. – С. 91–117.

Гендин Владислав Геннадьевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, vlad.gendin@gmail.com

3

ЛАЗЕРНЫЕ И БИМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.784.88

ТЕРАГЕРЦОВЫЕ СПЕКТРЫ ПРОПУСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ КАТАРАКТАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ХРУСТАЛИКОВ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА

А.А. Езерская, О.А. Смолянская, С.Е. Парахуда, Я.В. Грачев, А.О. Гончаренко

Публикуется в порядке дискуссии

Выявлена корреляция между оптической плотностью ядра хрусталика в терагерцовом диапазоне и его плотностью, определенной согласно классификации Л. Буратто. Уплотнение волокон хрусталика, вызванное старческой катарактой, увеличивает отражательную способность хрусталика в терагерцовом диапазоне. Временная структура сигнала терагерцового рефлектометрического томографа позволяет определить пространственное распределение плотности в хрусталике.

Ключевые слова: терагерцовая спектроскопия, терагерцовая томография, офтальмология, диагностика катаракты.

Введение

Влияние терагерцового (ТГц) излучения на биологические объекты в целом и на биополимеры, в частности, является очень интересной и перспективной темой для исследования, особенно в области офтальмологии. Значительный прорыв в лазерной офтальмологии произошел еще в 1954 г. с разработкой первого фотокоагулятора «Зайчик» и в 1963 г. с первой в мире успешной лазерной коагуляцией сетчатки глаза человека [1].

В настоящее время широкое применение лазеров для диагностики и хирургии в офтальмологии обусловлено способностью различного светового излучения достигать требующих коррекции структур глаза, не повреждая окружающие ткани [2, 3]. Это объясняется монохроматичностью и когерентностью лазерного излучения. Видимое световое излучение (400–750 нм), близлежащие участки ультрафиолетового и инфракрасного (ИК) спектра (325–400, 750–1400 нм) проникают до глазного дна. Остальное световое излучение поглощается поверхностными слоями роговицы и конъюнктивы [4, 5].

ТГц излучением принято называть излучение, лежащее в частотном диапазоне электромагнитных волн 0,1–10 ТГц (3 мм–30 мкм). Находясь между ИК и миллиметровым диапазонами, ТГц излучение обладает свойствами как того, так и другого диапазона [6]. Благодаря близости к СВЧ радиоволнам оно обладает большой проникающей способностью (ограниченной в основном содержанием ОН-групп), малой энергией фотона, но, с другой стороны, с ним можно работать, используя методы и технику ИК оптики. По сравнению с видимым и ИК излучением, ТГц излучение является длинноволновым, а значит, что оно менее подвержено рассеянию [7].

Преимущество ТГц излучения для медицинских применений заключается в неионизирующем характере его взаимодействия, в отличие от рентгеновского излучения. В то же время различные биологические ткани обладают существенно различным поглощением в данном диапазоне, что позволяет обеспечить контрастность снимков. Однако чрезвычайно высокое поглощение водой не позволяет ТГц излучению проникать глубоко в ткани, что ограничивает область его применения поверхность тканей.

Спектр ТГц излучения содержит колебательные и вращательные составляющие [8]. Это позволяет проводить идентификацию молекул по их характерным спектральным линиям [9]. В сочетании с получением изображения в терагерцовом диапазоне это помогает определить не только форму, но и состав исследуемого объекта.

В настоящее время представляет большой интерес исследование возможностей диагностики офтальмопатологии с помощью ТГц излучения. Катаракта, или помутнение хрусталика, является ведущей причиной снижения зрения в мире. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, в 1998 г. было зарегистрировано более 20 млн случаев заболевания этой патологией [10].

При наличии огромного количества аппаратуры для хирургического лечения катаракты, а также средств для интраокулярной коррекции зрения современное офтальмологическое общество испытывает явный дефицит диагностического оборудования [11]. На данный момент диагностика проводится с помощью щелевой лампы и микроскопа врачом-офтальмологом, что приводит к проблеме точного определения плотности ядра и расположения его в хрусталике.

Подготовка образцов

В связи с актуальностью реализации ряда задач в настоящей работе исследованы ТГц спектры пропускания и отражения катарактально измененных хрусталиков глаза человека с различной степенью плотности ядра. Объектом исследования были выбраны хрусталики третьей и четвертой степени плотности по классификации Л. Буратто [12]. Всего было исследовано 11 образцов.

Хрусталики были получены в ходе хирургического лечения катаракты методом экстракапсулярной экстракции у 11 пациентов с диагнозами «почти зрелая» и «зрелая старческая катаракта». Все операции выполнялись по медицинским показаниям и по классической технологии [13].

Хрусталик представляет собой двояковыпуклую линзу с диаметром 4–5 мм, состоящую из коллагеновых волокон и воды. Лишенный капсулы хрусталик подвержен большим изменениям биохимического состава и структуры. Помещенный в физиологический раствор хрусталик набухает за счет значительной гидрофильности с последующим полным помутнением. Метод сухой консервации с использованием силикогеля приводит к выраженной адсорбции воды, что также нарушает его качественный состав. Соответственно снижается достоверность проводимых исследований, поскольку изменяется оптическая плотность хрусталика. Исходя из этого, для сохранения хрусталиков в наиболее естественном состоянии была выбрана среда Борзенка–Мороз для консервации донорских роговиц [14]. Материал сохранялся в течение 7 суток при температуре от +5°C до +8 °C.

В рамках данного эксперимента ставилась задача исследовать терагерцовые спектры пропускания и отражения катарактально измененных хрусталиков глаза человека с различной степенью плотности ядра.

Исследование катарактально измененных хрусталиков глаза человека посредством ТГц спектрофотометра и рефлектометра

Измерение ТГц спектров пропускания хрусталиков проводилось при помощи ТГц спектрофотометра. Проводилось пятикратное измерение пропускания хрусталиков с третьей и четвертой степенью плотности ядра. Спектральный сигнал спектрофотометра при исследовании образцов хрусталика находится на уровне шума системы.

В ходе эксперимента было установлено, что сохранение воды в составе вещества хрусталиков привело к повышению уровня поглощения импульсного ТГц излучения диапазона 0,1–1 ТГц, что не позволило исследовать спектры пропускания образцов хрусталика на ТГц спектрофотометре с имеющимся уровнем чувствительности.

Для исследования ТГц спектров отражения катарактально измененных хрусталиков глаза человека использовалась оригинальная установка ТГц рефлектометрической томографии (рис. 1) [15].

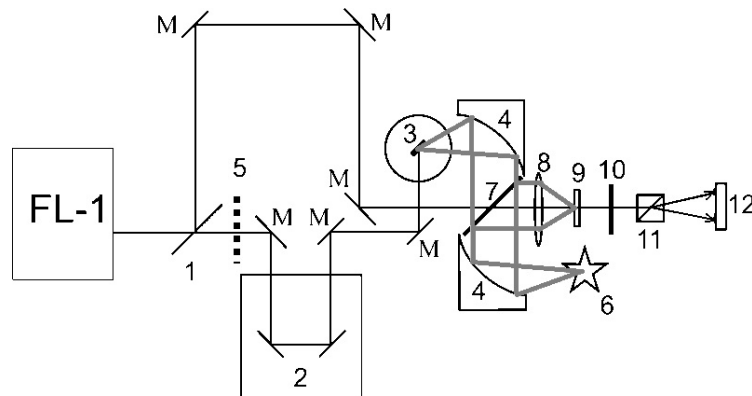


Рис. 1. Схема ТГц рефлектометрической томографа: FL-1 – лазер фемтосекундных импульсов на Yb:KYW; M – зеркала ($R \approx 100\%$); 1 – светоделитель; 2 – оптическая линия задержки; 3 – генератор ТГц излучения на основе кристалла InAs; 4 – 45° параболические зеркала; 5 – оптико-механический модулятор; 6 – объект исследования; 7 – светоделитель ТГц излучения на основе пластины из высокоомного кремния; 8 – линза из TPX с $f = 5$ см; 9 – электрооптический кристалл CdTe; 10 – ахроматическая четвертьволновая пластинка; 11 – призма Волластона; 12 – балансный детектор

В ходе эксперимента было установлено, что отражение излучения диапазона частот 0,6–0,9 ТГц от катарактально измененного хрусталика с четвертой степенью плотности ядра составляет 20–30%, в то время как отражение от катарактально измененного хрусталика с третьей степенью плотности ядра составляет 5–15% (рис. 2). Таким образом, катарактальное уплотнение волокон хрусталика увеличивает отражательную способность в ТГц диапазоне, что может позволить объективно диагностировать степень помутнения хрусталика.

Сигнал, формируемый ТГц импульсами, отраженными от образца хрусталика, отличается для образцов с разной степенью помутнения. На рис. 3 приведены временные формы сигнала от образцов катарактально измененных хрусталиков глаза человека с третьей и четвертой степенью плотности ядра. Импульс с временной координатой 8 пс соответствует отражению ТГц импульса от поверхности хрусталика. Амплитуда ТГц импульса, отраженного от поверхности хрусталика с четвертой степенью плотности ядра, превышает практически в два раза амплитуду импульса, отраженного от поверхности хрусталика третьей степени плотности.

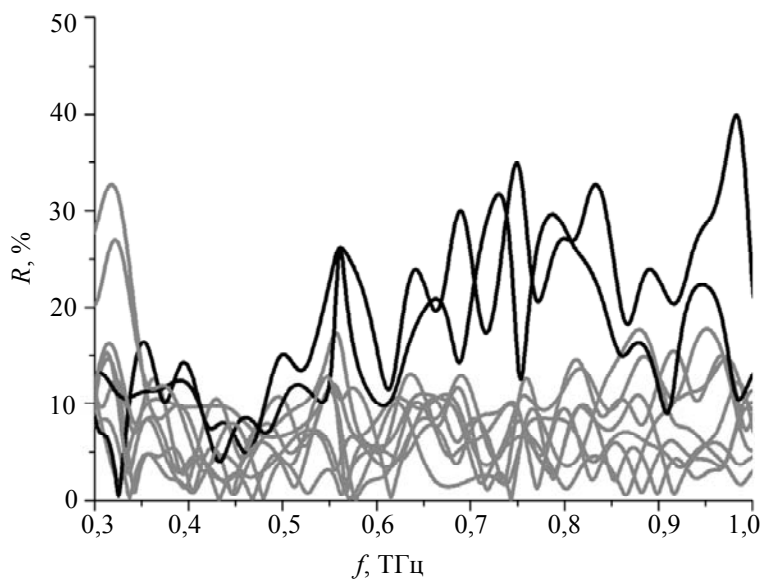


Рис. 2. Спектры отражения катарактально измененного хрусталика с третьей (серые линии) и четвертой (черные линии) степенью плотности ядра

Для хрусталиков с третьей степенью плотности ядра на временной координате 14 пс наблюдается второй отраженный импульс, соответствующий участку ядра хрусталика с более плотным расположением волокон. Временная задержка между импульсами в 6 пс соответствует оптической длине в 1,8 мм.

При четвертой степени плотности ядро занимает весь объем хрусталика, следовательно, не наблюдается изменения оптической плотности, а происходит только одно отражение от поверхности хрусталика.

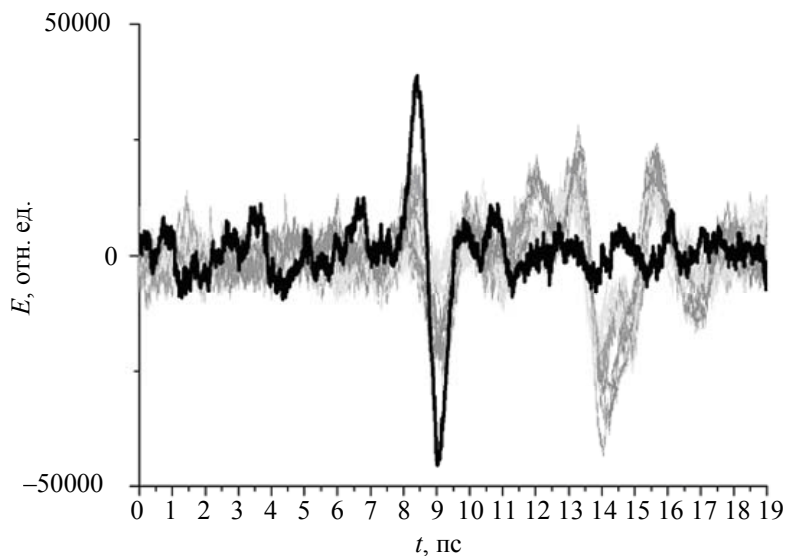


Рис. 3. Временная зависимость величины напряженности электрического поля ТГц импульса, отраженного от катарактально измененных хрусталиков третьей (серые линии) и четвертой (черные линии) степени плотности ядра от времени. Усреднение – для четырех измерений одного образца.

Заключение

Исследованы терагерцовые спектры пропускания и отражения катарактально измененных хрусталиков глаза человека с различной степенью плотности ядра. Использование для сохранения образцов хрусталика среды Борзенка–Мороз позволило исследовать их в состоянии, приближенном к исходному.

Применение терагерцового рефлектометрического томографа дало возможность установить корреляцию между оптической плотностью ядра хрусталика в терагерцовом диапазоне и его плотностью, согласно классификации Л. Буратто.

Уплотнение волокон хрусталика, вызванное старческой катарактой, увеличивает отражательную способность хрусталика в ТГц диапазоне, что может позволить диагностировать стадию развития заболевания. Временная структура сигнала ТГц о рефлектометрического томографа позволяет определить пространственное распределение плотности в хрусталике.

Учитывая анатомическое строение глаза человека, исследования ТГц спектров пропускания катарактально измененных хрусталиков различной степени плотности дают серьезные основания полагать, что применение этого излучения в офтальмологии для диагностики *in vivo* возможно.

Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации (ГК №14.740.12.0841, ГК №16.513.11.3070).

Литература

1. Линник Л.А., Король А.Р., Задорожный О.С. Этапы становления и развития отечественной лазерной офтальмологии // Газета «Новости медицины и фармации». Офтальмология. – 2011. – № 17 (363).
2. Волков В.В., Гончаров С.Е., Даль Г.А. и др. Новое в лазерной медицине. – М., 1991. – 86 с.
3. Федоров С.Н., Копаева В.Г., Андреев Ю.В., Беликов А.В., Парахуда С.Е., Скрипник А.В. Лазерная хирургия катаракты // Лазеры для медицины, биологии и экологии. Труды Шестой петербургской школы-семинара-выставки. – СПб: Российский центр лазерной физики, 1998. – С. 19.
4. Балашевич Л.И. Лазеры в офтальмологии. – Л., 1983. – 34 с.
5. Бойко Э.В. Лазеры в офтальмологии: теоретические и практические основы. – СПб: Военно-медицинская академия, 2003. – 39 с.
6. Zhang X.-C., Xu Jingzhou. Introduction to THz wave photonics. – N.Y.: Springer Science+Business Media, 2009. – 249 p.
7. Назаров М.М., Шкуринов А.П., Кулешов Е.А., Тучин В.В.. Терагерцовая импульсная спектроскопия биологических тканей // Квантовая электроника. – 2008. – Т. 38 (7). – С. 647–654.
8. Wang S., Zhang X.-C. Pulsed terahertz tomography // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2004. – V. 37. – P. 1.
9. Fisher B.M., Helm H. and Jepsen P.U. Chemical recognition with broadband THz Spectroscopy // Proc. IEEE. – 2007. – V. 95. – P. 1592–1604.
10. Доклад Всемирной организации здравоохранения «Жизнь в 21 веке»: Зрение для всех. – Женева: ВОЗ, 1998. – 47 с.
11. Конов В.И., Осико В.В., Щербаков И.А. Фундаментальные достижения оптики и лазерной физики для медицины // Вестник Российской Академии наук. – 2004. – Т. 74. – № 2. – С. 99–114.
12. Федоров С.Н. Лазерные методы лечения заболеваний глаз. – М., 1990. – 115 с.
13. Buratto Lucio. Хирургия катаракты. Переход от экстракапсулярной экстракции к факто-эмульсификации. – Fabiano Editore, 1999. – 472 с.
14. Федоров С.Н., Мороз З.И., Борзенко С.А., Комах Ю.А. Среда для консервации роговицы глаза. Патент РФ № 2069951, приоритет от 21.02.1993.
15. Беспалов В.Г., Городецкий А.А., Грачев Я.В. и др. Импульсный терагерцовый рефлектометр // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – Т. 71. – № 1. – С. 19–23.

- | | |
|---------------------------------------|--|
| <i>Езерская Анна Александровна</i> | – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, a.a.ezerskaya@gmail.com |
| <i>Смолянская Ольга Алексеевна</i> | – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, доцент, o_smolyanskaya@mail.ru |
| <i>Парахуда Сергей Евгеньевич</i> | – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, доцент, pars144@mail.ru |
| <i>Грачев Ярослав Владимирович</i> | – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, grachev_y@mail.ru |
| <i>Гончаренко Александра Олеговна</i> | – Краснодарский филиал ФГУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н.Федорова», аспирант, beesanny@gmail.com |

4

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК [517.938 + 519.713/.718]: 621.398

ФОРМИРОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНОЙ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ КОРРЕКЦИИ МНОГОКРАТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ КОДОВ НА ОСНОВЕ КВАЗИСИНДРОМОВ В ТЕМПЕ АППАРАТНОГО ВРЕМЕНИ

А.В. Ушаков, Е.С. Яицкая

Рассматривается проблема формирования сигналов коррекции искажений систематических помехозащищенных кодов с использованием квазисиндромов ошибок в алгоритмической среде рекуррентного декодирования для случая исправления ошибок повышенной кратности и в темпе аппаратного времени. Положения работы иллюстрируются примером.

Ключевые слова: рекуррентное декодирование, квазисиндром, темп аппаратного времени, многократные искажения.

Введение. Постановка задачи. Концепция канального и аппаратного времени

В задачах помехозащитного кодопреобразования встает проблема обмена аппаратного пространства на временные затраты [1]. Эта проблема возникает всякий раз, когда в составе аппаратуры (hardware) устройств дискретной автоматики есть функциональные компоненты, в которых процесс кодопреобразования носит векторный характер, не параметризованный дискретным временем. При этом с указанными компонентами соседствуют другие, в которых процессы кодопреобразования имеют скалярный характер, параметризованный дискретным временем.

При решении поставленной проблемы постулируются следующие положения.

Постулат 1. Помехозащищенный код (ПНЗК) может поступать на узел помехозащиты в скалярной параметризованной дискретным временем форме, т.е. в виде последовательного кода старшим разрядом вперед. □

Постулат 2. ПНЗК может подаваться на узел помехозащиты в векторной не параметризованной дискретным временем форме, т.е. в виде параллельного кода старшим разрядом вниз. □

Постулат 3. Двоичный канал связи (канальная среда) (КС) передачи помехозащищенного кода (ПЗК) от узла помехозащиты к узлу декодирования и коррекции кода при всех реализациях процесса помехозащитного кодирования и декодирования является скалярным параметризованным дискретным временем, и по нему передается последовательный двоичный код. □

Постулат 4. Процесс преобразования кода, представленного в форме двоичной кодовой последовательности, характеризуется канальным временем в фазе вывода его в КС и в фазе приема из КС. □

Постулат 5. Процесс преобразования кода в аппаратной среде приемной стороны в фазе, непосредственно не связанной с приемом кода из КС, может быть организован в темпе аппаратного времени, отличающегося от канального. □

Примерами процессов преобразования кода, осуществляемых в темпе канального времени, являются: помехозащитное кодирование; преобразование вектора ПЗК, сформированного матричным не параметризованным дискретным временем методом, в последовательный код; помехозащитное декодирование с целью формирования синдрома ошибок; размещение искаженного ПЗК, принятого из КС, в сдвиговом регистре хранения, и т.д.

Примерами процессов преобразования кода, осуществляемых в темпе аппаратного времени, являются: преобразование последовательного ПНЗК в параллельный при матричном методе формирования ПЗК; процесс деления в декодирующем устройстве при повторных циклах деления, и т.д.

Следует заметить, что канальное время определяется конкретным типом используемой телекоммуникационной аппаратуры (например, телемеханическим протоколом), пропускная способность которой определяет длительность элементарного сигнала кода, его формат, а, следовательно, число разрядов этого кода не может быть модифицируемо в силу требований используемого протокола канального уровня. Аппаратное время, напротив, является модифицируемым. При этом выбором делителей частоты генераторов тактовых импульсов можно реализовать такое соотношение между канальным и аппаратным временем, при котором процессы преобразования последовательного кода в параллельный при матричном методе помехозащитного кодирования можно осуществить за один такт канального времени; за один такт канального времени можно также осуществить каждый повторный цикл деления при декодировании.

Модифицируемость аппаратного времени является основным резервом сокращения временных затрат при помехозащитном кодировании и декодировании.

Временные потери при коррекции многократных искажений в рекуррентной алгоритмической среде на основе квазисиндромов в темпе канального времени

В работах [2, 3] рассматривается способ коррекции систематических кодов на основе использования квазисиндромов. Процесс систематического помехозащитного преобразования кодов [4–7] представляется векторно-матричным описанием, параметризованным дискретным временем k , выраженным в числе тактов длительности Δt в форме системы соотношений:

$$x_c(k+1) = Ax_c(k) + B_c a(k), k = \overline{1, h}; \quad (1)$$

$$y(k) = La(k);$$

$$\tilde{x}_c(k+1) = \tilde{A}\tilde{x}_c(k), k = \overline{1, m}; \tilde{x}_c(0) = x_c(h);$$

$$y(k) = C\tilde{x}_c(k);$$

$$f(k) = y(k) + \xi(k);$$

$$x_d(k+1) = Ax_d(k) + B_d f(k), k = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$E = x_d^T(n),$$

где $a(k)$ – (h) -элементарная информационная кодовая последовательность (код); $y(k)$ – (n, h) -элементарная последовательность ПЗК; $\xi(k)$ – (n) -элементарная последовательность помехи в КС; $f(k)$ – (n) -элементарная последовательность искаженного в КС ПЗК; E – код синдрома искажения (ошибки) ПЗК; $n - h = m$ – число проверочных разрядов ПЗК; $x_c, \tilde{x}_c$ – вектор состояния кодирующего устройства (КУ) до и после коммутации его структуры, размерности $\dim x_c = \dim \tilde{x}_c = m$; B_c – $(m \times 1)$ -матрица входа КУ; $L = [1]$, $C = [1 \ O_{1 \times (m-1)}]$ – матрицы выхода КУ; $\tilde{A}$ – нильпотентная матрица с индексом $\nu = m$; x_d – вектор состояния декодирующего устройства (ДКУ), размерности $\dim x_d = m$; A – $(m \times m)$ -матрица состояния КУ и ДКУ; B_d – $(m \times 1)$ -матрица входа ДКУ.

Строятся процедура и устройство коррекции, функционирующие в силу соотношения

$$\hat{y}(k) = f(k) + \hat{\xi}(k), \quad (3)$$

где $\hat{\xi}$ – код (сигнал) коррекции; $\hat{y}$ – код, восстановленный в результате процедуры коррекции. Наличие сигнала коррекции, параметризованного дискретным временем k , позволяет провести процедуру коррекции кода следующим образом. Синхронно с формированием сигнала коррекции в дополнительном цикле деления необходимо организовать вывод из приемного регистра искаженного ПЗК и суммирование разрядов выводимого ПЗК с сигналом коррекции, чем обеспечивается поразрядная параметризованная дискретным временем коррекция принятого из КС кода f путем суммирования с вектором ошибки ξ , так что обеспечивается выполнение соотношения (3), результат которого размещается или в дополнительном регистре хранения, или в том же, если построить его по принципу кольцевого регистра.

Предложенная процедура коррекции искаженного систематического кода существенно уменьшает аппаратные затраты, но вносит задержку в работу канала за счет второго цикла деления в темпе канального времени. Встает проблема уменьшения обнаруженных временных затрат.

Основной результат. Минимизация временных потерь при коррекции многократных искажений в рекуррентной алгоритмической среде на основе квазисиндромов за счет перехода от канального к аппаратному времени

Основной результат представим в виде алгоритма формирования квазисиндромов как сигналов коррекции ошибок на примере кратности не более 3 в темпе аппаратного времени.

Алгоритм 1.

1. Получить от разработчика КУ:
 - 1.1 параметры помехозащищенного (n, h) – кода, который при кратности s исправляемой ошибки удовлетворяет требованиям допустимой вероятности ложного приема выбранной категории системы передачи информации;
 - 1.2 матрицу A состояния КУ (1), а также образующий многочлен $g(x)$ кода, гарантирующий исправление ошибок кратности s , для проверки правильности формирования матрицы A из условия $A = \arg \{ \det(\lambda I + A) = g(\lambda) \}$.
2. Выбрать матрицу B_d входа ДКУ (2) из множества матриц вида $\left(A^l \times [O_{1 \times (m-1)} \ 1]^T \right)$ для $l = \overline{0, n-1}$.
3. Сформировать конъюнктор вида

$$\tilde{E}_0 = \eta_0(k) = \&x_d(k)|_{x_d(k)=\mathbf{B}_d}, \quad (4)$$

реализующий матрицы-столбцы $\mathbf{B}_d$ для получения квазисиндрома $\tilde{E}_0$ однократной ошибки. Если заданная кратность s исправляемой ошибки удовлетворяет равенству $s = 1$, то перейти к п. 6 алгоритма.

4. Сформировать $n-1$ конъюнкторов вида

$$\tilde{E}_\nu = \eta_\nu(k) = \&x_d(k)|_{x_d(k)=(\mathbf{A}^\nu \mathbf{B}_d + \mathbf{B}_d)}, \nu = \overline{1, n-1}, \quad (5)$$

реализующих матрицы-столбцы $(\mathbf{A}^\nu \mathbf{B}_d + \mathbf{B}_d)$ для получения квазисиндромов $\tilde{E}_\nu$ двукратных ошибок. Если заданная кратность s исправляемой ошибки удовлетворяет равенству $s = 2$, то перейти к п. 6 алгоритма.

5. Сформировать $(n-1)(n-2)/2$ конъюнкторов вида

$$\tilde{E}_{r,\nu} = \eta_{r,\nu}(k) = \&x_d(k)|_{x_d(k)=(\mathbf{A}^r \mathbf{B}_d + \mathbf{A}^\nu \mathbf{B}_d + \mathbf{B}_d)}, r = \overline{2, n-1}, \nu = \overline{1, n-2}, r > \nu,$$

реализующих матрицу-столбец $(\mathbf{A}^r \mathbf{B}_d + \mathbf{A}^\nu \mathbf{B}_d + \mathbf{B}_d)$ для получения квазисиндромов $\tilde{E}_{r,\nu}$ троекратных ошибок.

6. Модифицировать полученные в вышеизложенных пунктах алгоритма конъюнкторы за счет введения дополнительного входного сигнала управления процессом формирования квазисиндромов с тем, чтобы сигналы коррекции, сформированные конъюнкторами, не формировались на первом цикле деления.
7. Сформировать устройство коррекции в виде сумматора (3) выходной кодовой последовательности и полученных сигналов с конъюнкторов.
8. Проверить на конкретном примере корректирующую способность квазисиндромов ошибок.
9. Разработать схемотехническую реализацию перехода на втором цикле деления устройства коррекции с канального времени на аппаратное так, чтобы затраты на второй цикл деления и формирования сигнала коррекции по длительности не превышали одного такта канального времени. ■

Пример

На основе алгоритма 1 построим устройство коррекции, исправляющее ошибки второй кратности в темпе аппаратного времени.

1. Пусть от разработчика КУ получены следующие данные:

1.1 $(n, h) = (15, 7)$ – формат помехозащищенного кода, обладающий способностью исправлять ошибки второй кратности;

1.2. образующий многочлен $g(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + 1$ и матрица $\mathbf{A}$ ДКУ (2)

$$\mathbf{A} = \text{col}\{[11000000], [10100000], [00010000], [10001000], [00000100], [00000010], [00000001], [10000000]\}^T;$$

$$\det(\lambda \mathbf{I} + \mathbf{A}) = \lambda^8 + \lambda^7 + \lambda^6 + \lambda^4 + 1.$$

2. Выберем матрицу входа $\mathbf{B}_d = [00000001]^T$ и построим структурную реализацию ДКУ на паре матриц $(\mathbf{A}, \mathbf{B}_d)$ (рис. 1).

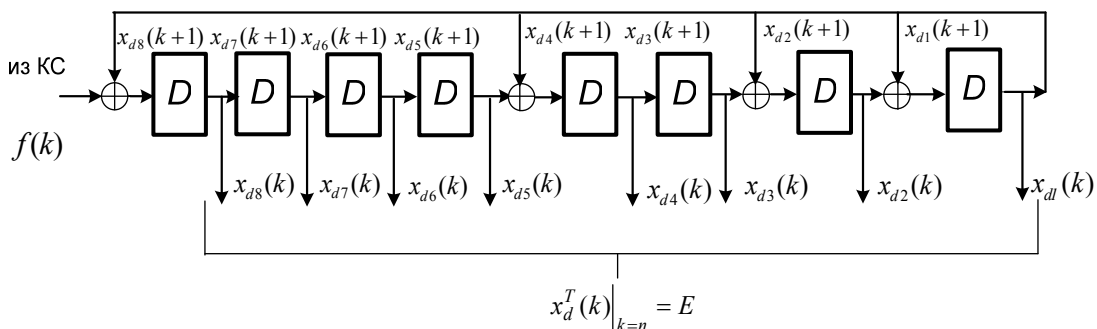


Рис. 1. Структурная реализация ДКУ: D – D -триггер

- 3–7. Сформируем устройство коррекции в виде сумматора по модулю два, выводимого на втором цикле деления из регистра хранения искаженного кода $f_r(k)$, и сигналов коррекции $\eta_0(k), \eta_\nu(k)$, сформированных в форме конъюнкции переменных – элементов вектора состояния ДКУ

$[x_{d1}(k), x_{d2}(k), x_{d3}(k), x_{d4}(k), x_{d5}(k), x_{d6}(k), x_{d7}(k), x_{d8}(k)]$ и сигнала управления процессом формирования квазисиндрома $s_i(k)$ согласно (4)–(5). Для краткости записи воспользуемся десятичным представлением двоичных слов из переменных $x_i \in GF(2) = \{0, 1\}, i = \overline{1, m}$, параметризованных дискретным временем k , образующих m -мерные конъюнкции. При этом способ представления записи иллюстрируется на примере сигнала $\eta_0(k)$

$$\begin{aligned} \eta_0(k) &= \bar{x}_{d1}(k)\bar{x}_{d2}(k)\bar{x}_{d3}(k)\bar{x}_{d4}(k)\bar{x}_{d5}(k)\bar{x}_{d6}(k)\bar{x}_{d7}(k)x_{d8}(k)s_i(k) = (1)_2(k)s_i(k); \\ \eta_1(k) &= (3)_2(k)s_i(k); \eta_2(k) = (5)_2(k)s_i(k); \eta_3(k) = (9)_2(k)s_i(k); \\ \eta_4(k) &= (17)_2(k)s_i(k); \eta_5(k) = (33)_2(k)s_i(k); \eta_6(k) = (65)_2(k)s_i(k); \\ \eta_7(k) &= (129)_2(k)s_i(k); \eta_8(k) = (208)_2(k)s_i(k); \eta_9(k) = (114)_2(k)s_i(k); \\ \eta_{10}(k) &= (231)_2(k)s_i(k); \eta_{11}(k) = (28)_2(k)s_i(k); \eta_{12}(k) = (59)_2(k)s_i(k); \\ \eta_{13}(k) &= (117)_2(k)s_i(k); \eta_{14}(k) = (233)_2(k)s_i(k). \end{aligned}$$

8. Проверим полученное устройство коррекции на конкретном примере.

Пусть дан помехозащищенный информационный код, который определяет входную последовательность КУ $a(k):1001011$. В силу полной блочной систематичности формируемого ПЗК информационную часть кода можно записать в виде $y = [a|z] = [1001011y_8y_7y_6y_5y_4y_3y_2y_1]$.

Вычисление остатка с помощью рекуррентной процедуры (1) сведем в табл. 1

(при $\mathbf{B}_c^T = K\{x^m + g(x)\} \Big|_{m=8} = K\{x^8 + x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + 1\} = K\{x^7 + x^6 + x^4 + 1\} = [11010001] \text{ [2]}).$

k	0	1	2	3	4	5	6	7
$a(k)$	1	0	0	1	0	1	1	0
$x_c(k)$	$(0)_2$	$(209)_2$	$(115)_2$	$(230)_2$	$(204)_2$	$(73)_2$	$(67)_2$	$(87)_2$

Таблица 1. Проверка функционирования устройства кодирования помехозащищенного информационного кода $a(k):1001011$

Из табл. 1 видно, что на седьмом такте деления в КУ сформировался остаток, который через замкнутый ключ вслед за информационными разрядами будет передан в КС в составе ПЗК, который примет вид $y(k):100101101010111$.

Зададим искажение передаваемого ПЗК в первом и пятом разрядах с помощью помеховой последовательности $\xi(k):000000000010001$. На вход ДКУ из КС поступает искаженная двоичная кодовая последовательность $f(k):100101101000110$, она же размещается в приемном регистре хранения.

Проведем два цикла деления. Результат первого цикла деления, реализующего процедуру декодирования и получения синдрома, сведем в табл. 2.

k	0	1	2	3	4	5	6	7
$f(k)$	1	0	0	1	0	1	1	0
$x_d(k)$	$(0)_2$	$(1)_2$	$(2)_2$	$(4)_2$	$(9)_2$	$(18)_2$	$(37)_2$	$(75)_2$
$s_i(k)$	0	0	0	0	0	0	0	0
k	8	9	10	11	12	13	14	15
$f(k)$	1	0	0	0	1	1	0	0
$x_d(k)$	$(150)_2$	$(252)_2$	$(41)_2$	$(82)_2$	$(164)_2$	$(152)_2$	$(224)_2$	$(17)_2$
$s_i(k)$	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 2. Проверка функционирования устройства декодирования искаженной двоичной кодовой последовательности $f(k):100101101000110$

Табл. 2 позволяет записать для синдрома ошибки

$$E = (\mathbf{A}^{j-1} \mathbf{B}_d)^T + (\mathbf{A}^{i-1} \mathbf{B}_d)^T \Big|_{i=1}^{j=5} = (\mathbf{A}^4 \mathbf{B}_d)^T + (\mathbf{A}^0 \mathbf{B}_d)^T = [00010000] + [00000001] = [00010001],$$

который является синдромом двукратной ошибки в пятом и первом разрядах.

Второй цикл деления реализует процедуру коррекции, результат которой приведен в табл. 3.

k	15	16	17	18	19	20	21	22
$f(k)$	0	0	0	0	0	0	0	0
$f_r(k)$	0	1	0	0	1	0	1	1
$x_d(k)$	$(17)_2$	$(34)_2$	$(68)_2$	$(136)_2$	$(193)_2$	$(83)_2$	$(166)_2$	$(157)_2$
$s_t(k)$	0	1	1	1	1	1	1	1
$\eta_0(k) = 1 ; \eta_\nu(k) = 1, \nu = \overline{1,14}$	–	–	–	–	–	–	–	–
$\hat{y}(k) = f_r(k) + \eta_0(k) + \sum_{\nu=1}^{14} \eta_\nu(k)$	0	1	0	0	1	0	1	1
k	23	24	25	26	27	28	29	30
$f(k)$	0	0	0	0	0	0	0	0
$f_r(k)$	0	1	0	0	0	1	1	0
$x_d(k)$	$(235)_2$	$(7)_2$	$(14)_2$	$(28)_2$	$(56)_2$	$(112)_2$	$(224)_2$	$(17)_2$
$s_t(k)$	1	1	1	1	1	1	1	1
$\eta_0(k) = 1 ; \eta_\nu(k) = 1, \nu = \overline{1,14}$	–	–	–	$\eta_{11}(k)$	–	–	–	$\eta_4(k)$
$\hat{y}(k) = f_r(k) + \eta_0(k) + \sum_{\nu=1}^{14} \eta_\nu(k)$	0	1	0	1	0	1	1	1

Таблица 3. Проверка функционирования устройства коррекции ошибок второй кратности

Код $\hat{y}(k)$, восстановленный в результате процедуры коррекции, совпадает с ПЗК $y(k)$.

- Разработаем схмотехническую реализацию перехода на втором цикле деления устройства коррекции с канального времени на аппаратное так, чтобы затраты на второй цикл деления и формирование сигнала коррекции по длительности не превышали одного такта канального времени. Полная схема устройства коррекции приведена на рис. 2.

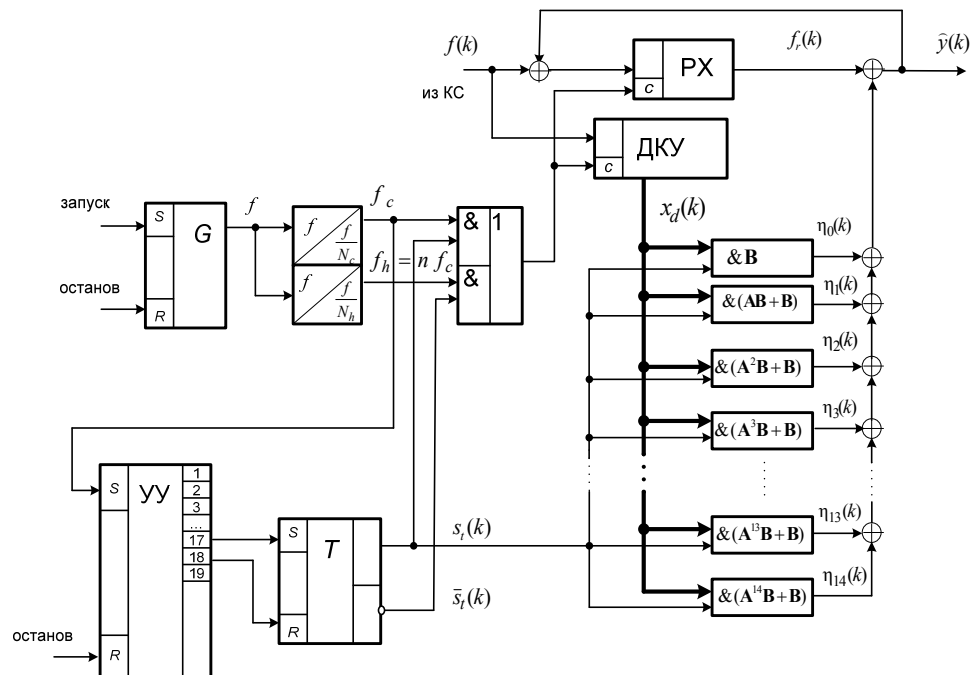


Рис. 2. Устройство коррекции искажений ошибок первой и второй кратности кода на основе использования квазисиндромов в темпе аппаратного времени: РХ – регистр хранения с выходным сигналом $f_r(k)$; УУ – устройство управления формированием квазисиндрома с выходным сигналом $s_t(k)$; Т – триггер; G – генератор тактовых импульсов частоты f ; $\frac{f}{N_c}$ – делитель частоты с выходным

сигналом частоты; f_c – частота канального времени; $\frac{f}{N_h}$ – делитель частоты с выходным сигналом частоты; $f_h = n f_c$ – частота аппаратного времени

Заключение

Нетрудно видеть, что предложенная в работе алгоритмическая среда (software), по существу, позволяет одним и тем же системологическим приемом осуществлять исправление искажений любой кратности при условии, что эту кратность гарантирует характеристический неприводимый многочлен корректируемого систематического кода.

Предложенный способ коррекции существенно уменьшает аппаратные затраты по сравнению с реализацией псевдообратной матрицы H^+ в булевом базисе при традиционной процедуре коррекции кода, а также позволяет сократить временные затраты, вносимые в работу канала за счет второго цикла деления в темпе аппаратного времени.

Литература

1. Мельников А.А., Ушаков А.В. Двоичные динамические системы дискретной автоматики / Под ред. А.В. Ушакова. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. – 214 с.
2. Ушаков А.В., Яицкая Е.С. Формирование сигнала коррекции искажений систематических кодов на основе квазисиндрома в алгоритмической среде рекуррентного декодирования в темпе канального времени: случай однократной ошибки // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики» (на рассмотрении).
3. Ушаков А.В., Яицкая Е.С. Формирование сигналов коррекции искажений систематических кодов на основе квазисиндромов в алгоритмической среде рекуррентного декодирования в темпе канального времени: случай многократных ошибок // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики» (на рассмотрении).
4. Ушаков А.В., Яицкая Е.С. Анализ структуры пространства состояний линейных двоичных динамических систем на основе их рекуррентного модельного представления // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 4 (74). – С. 43–49.
5. Гилл А. Линейные последовательностные машины. – М.: Наука, 1974. – 288 с.
6. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. – М.: Мир, 1976. – 600 с.
7. Rosenthal J. Some interesting problems in systems theory which are of fundamental importance in coding theory // Proc. 36 Conf. Decision Control. – San Diego, CA, 1997. – V. 5. – P. 4574–4579.

Ушаков Анатолий Владимирович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, ushakov-avg@yandex.ru

Яицкая Елена Сергеевна – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, yait-skayaes@mail.ru

УДК 621.311.6: 621.327.7+ 621.3.011.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИМПУЛЬСНОЙ КСЕНОНОВОЙ ЛАМПЕ ПРИ РАБОТЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЕ НАКАЧКИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЯТОРА С ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДОМ НАКОПИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ

Ю.А. Мандрыко, В.В. Тогатов

Проведено исследование физических процессов при формировании импульса тока накачки в плазменном канале импульсной ксеноновой лампы в режиме ограничения тока накачки самой лампой.

Ключевые слова: импульс тока накачки, плазменный канал, электрическая цепь.

Введение

В работе [1] выполнен анализ физических процессов и характеристик в импульсной ксеноновой лампе (ИКЛ) в режиме ограничения тока накачки внешней электрической цепью. Предложенная в работе [1] физико-математическая модель приемлемо описывает процесс формирования плазменного канала в том случае, когда этот процесс можно считать квазистационарным относительно процессов в электрической схеме накачки. В настоящей работе проанализированы электрические, термодинамические и оптические характеристики ИКЛ, работающей в электрической схеме накачки на основе модулятора с частичным разрядом накопительной емкости с коммутирующим IGBT-транзистором. В этом случае ток накачки определяется физическими процессами в ИКЛ и ограничен параметрами самой лампы.

Электрическая схема накачки импульсной ксеноновой лампы

Электрическая схема накачки ИКЛ на основе модулятора с частичным разрядом накопительной емкости с коммутирующим IGBT-транзистором представлена на рис. 1.

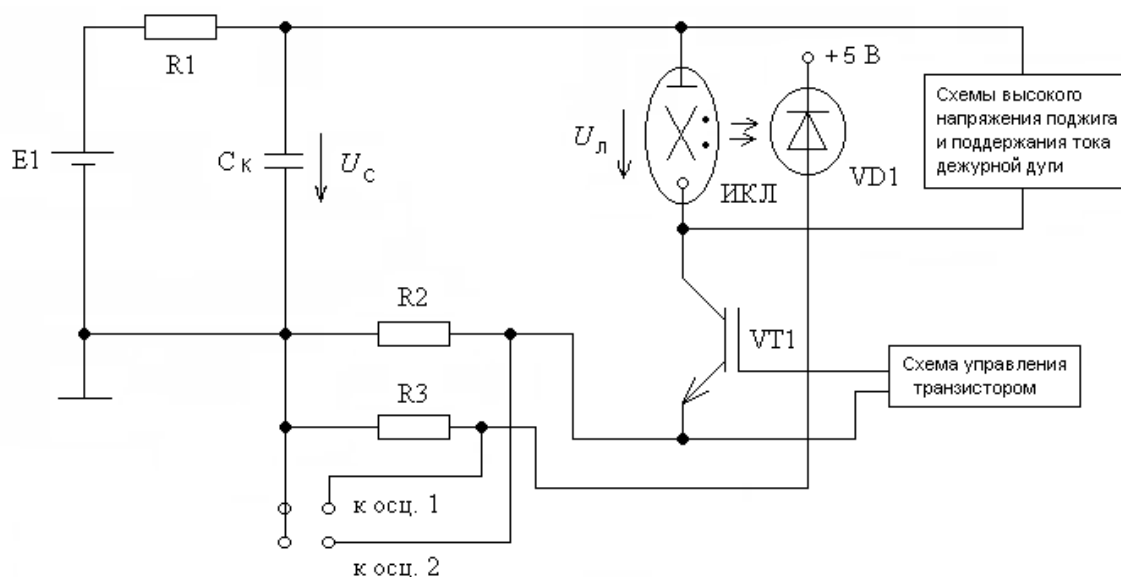


Рис. 1. Электрическая схема накачки импульсной ксеноновой лампы на основе модулятора с частичным разрядом накопительной емкости с коммутирующим IGBT-транзистором: $R_1 = 510 \text{ Ом}$ (75 Вт); $R_2 = 0,1 \text{ Ом}$ (5 Вт); $R_3 = 510 \text{ кОм}$ (0,25 Вт); $C_k = 13 \text{ мФ}$ (500 В); фотодиод VD1 типа BPW21R; IGBT-транзистор VT1 типа IRG4PSC71U; $E_1 = 160 \text{ В}$; осциллографы 1, 2 типов: HPS10, HPS40, HPS50 и APS230; ИКЛ типа ИСП250

При включении IGBT-транзистора VT1 происходил разряд блока конденсаторов C_k , заряженного до напряжения $U_c(0)$, равног электродвижущей силе (ЭДС) источника питания E1, через ИКЛ. При этом формировался импульс тока накачки $i_n(t)$ в ИКЛ. Регистрация тока накачки в ИКЛ осуществлялась с помощью безындуктивного датчика тока R2. Напряжение между электродами ИКЛ U_n , равное напряжению на блоке конденсаторов $U_n = U_c$, в процессе формирования импульса тока накачки в ИКЛ оставалось практически постоянным, так как при выбранной емкости блока конденсаторов $C_k = 13 \text{ мФ}$ его разряд за время импульса тока t_t пренебрежимо мал. Электрическая энергия $W_{эл}$, поступившая в ИКЛ, может регулироваться либо за счет изменения величины ЭДС источника питания $E_1 = U_c(0)$, либо за счет изменения длительности импульса тока накачки t_t в ИКЛ. Для регистрации мощности излучения ИКЛ $N_{изл}$ использовался фотодиод VD1, включенный по фотодиодной схеме. Величина фототока снималась с датчика тока R3.

Анализ физических процессов в импульсной ксеноновой лампе

Процессы формирования плазменного канала в ИКЛ включают в себя следующие стадии развития плазменного дугового разряда: стадию увеличения ионной температуры неравновесного плазменного канала (в состав которой входит стадия расширения плазменного канала), стадию увеличения температуры равновесного плазменного канала вплоть до максимальной величины и стадию поддержания температуры равновесного плазменного канала. На первых двух стадиях формируется фронт импульса тока накачки в ИКЛ, на третьей – плоская часть импульса. Важно подчеркнуть, что на всех трех стадиях поведение тока накачки в ИКЛ определяется процессом формирования плазменного канала и величиной ЭДС источника питания E1.

Для анализа процессов на стадии увеличения ионной температуры неравновесного плазменного канала необходимо знать его установившуюся ионную температуру $T_{и,д}$ на стадии поддержания тока дежурной дуги. Исходными параметрами при анализе процессов на стадии увеличения ионной температуры неравновесного плазменного канала являются установившиеся величины напряжения $U_{л,д}$ и тока I_d в ИКЛ в режиме дежурной дуги, а также другие физические и геометрические параметры ИКЛ. Для определения $T_{и,д}$ произведено численное решение уравнения баланса мощностей на стадии поддержания тока дежурной дуги, согласно которому электрическая мощность $N_{эл,ст,д}$, поступающая в положительный

столб плазменного канала, равна сумме мощностей излучения плазменного канала N_4 и теплоотдачи N_5 в окружающую среду.

При расчете переходной характеристики тока накачки $i_n(t)$ и остальных физических параметров в ИКЛ считали заданными ЭДС источника питания E_1 , длительность импульса тока накачки t_r , емкость блока конденсаторов C_k , а также физические и геометрические параметры ИКЛ.

Стадия расширения плазменного канала. Электрическая энергия, поступившая в ИКЛ за время любой стадии, рассчитывается по формуле

$$W_{эл,j} = \int_{t_j}^{t_{j+1}} N_{эл} \cdot dt = \int_{t_j}^{t_{j+1}} i_n \cdot U_n \cdot dt, \quad (1)$$

где $N_{эл}$ – электрическая мощность, поступающая в ИКЛ и распределяющаяся в положительном столбе, прианодной и прикатодной областях ИКЛ; i_n – мгновенный ток накачки в ИКЛ; U_n – напряжение между электродами ИКЛ; $j = 0, 1, 2, 3$ – индексы, соответствующие началам и окончаниям последовательно проходящих стадий формирования плазменного канала; текущее время на стадии расширения плазменного канала лежит в интервале $t \in (0; t_1)$.

Электрическая мощность $N_{эл,ст}$, поступающая в положительный столб расширяющегося плазменного канала, расходуется на мощность расширения плазменного канала $N_{2,3}$, мощность излучения плазменного канала N_4 и мощность теплоотдачи N_5 из плазменного канала в воздух, окружающий ИКЛ и находящийся при температуре T_0 .

Теплоотдача осуществляется через граничную область, холодный ксенон и стенки колбы ИКЛ. Между плазменным каналом и холодным ксеноном существует граничная область толщиной $\Delta l = 0,2$ мм [2–4].

На рассматриваемой стадии уравнение баланса мощностей выглядит следующим образом:

$$N_{эл,ст} = N_{2,3} + N_4 + N_5. \quad (2)$$

Электрическая мощность, поступающая в положительный столб плазменного канала, равна

$$N_{эл,ст} = i_n \cdot U_{ст}. \quad (3)$$

Падение напряжения между краями положительного столба плазменного канала рассчитывается по формуле [5, 6]:

$$U_{ст} = U_n - U_a - U_k,$$

где U_a – падение напряжения на прианодной области плазменного канала; U_k – падение напряжения на прикатодной области плазменного канала. Мощность расширения плазменного канала $N_{2,3}$ складывается из мощности N_2 , расходуемой на нагрев расширяющегося плазменного канала, и мощности N_3 , необходимой для образования ксеноновой плазмы (мощности фазового перехода из газообразного в плазменное состояние)

$$N_{2,3} = N_2 + N_3.$$

Формула, связывающая мощность расширения плазменного канала со скоростью изменения объема последнего, имеет вид

$$N_{2,3} = \rho_{пл} \cdot \left[C_{р.о} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_k} + T_n \right) + \varpi_{пл.о} \right] \cdot \frac{dv_k}{dt}, \quad (4)$$

где $\frac{dv_k}{dt} = \frac{H_1}{\sigma_k \cdot E_{ст}} \cdot \frac{di_n}{dt}$; $\rho_{пл}$ – объемная плотность плазмы в канале; $C_{р.о} = 158,3$ Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость ксеноновой плазмы при квазистационарном давлении и электронной температуре образования ксеноновой плазмы $T_{э,о} = 6400$ К; $\alpha_k = 1,087 \cdot 10^{-3}$ К⁻¹ – коэффициент объемного расширения неравновесного плазменного канала; $\varpi_{пл.о}$ – удельная энергия образования плазмы; v_k – мгновенный объем плазменного канала; H_1 – длина положительного столба плазменного канала, близкая к расстоянию между электродами ИКЛ; σ_k – удельная электрическая проводимость плазменного канала; $E_{ст}$ – напряженность электрического поля в положительном столбе плазменного канала.

Ионная температура расширяющегося плазменного канала определяется по [7]:

$$T_n = T_{и,л}(I_n) + \frac{1}{\alpha_k} \cdot \ln \left(\frac{i_n}{I_n} \right), \quad (5)$$

где $T_{и.д}$ – установившаяся ионная температура плазменного канала на стадии поддержания тока дежурной дуги; I_d – установившийся ток дежурной дуги.

Удельная энергия образования плазмы рассчитывается по формуле, полученной авторами с учетом [5, 6]:

$$\varpi_{пл.о} = \frac{n_э}{\left(1 + \frac{n_{в.а}}{n_э}\right) \cdot \rho_{пл}} \cdot \frac{3}{2} \cdot k \cdot T_{э.о},$$

где $k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; $T_{э.о}$ – электронная температура образования плазмы. Концентрация электронов $n_э$ в плазменном канале определяется по формуле, полученной авторами с использованием [2, 5, 6]:

$$n_э = \frac{(U_l - U_a - U_k) \cdot D_1 \cdot T_э^{\frac{3}{2}}}{H_1 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{N_{э.а} \cdot k}{m_э}}},$$

где $D_1 = 3,2 \cdot 10^{-5}$ См/(м·К²) [2]; $T_э$ – электронная температура плазменного канала; $N_{э.а} = 8$ – число валентных электронов в атоме ксенона; $e = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона; $m_э = 9,1095 \cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона.

Из уравнения Больцмана рассчитывается концентрация $n_{в.а}$ возбужденных атомов в плазменном канале [8]:

$$n_{в.а} = n_1 \cdot \frac{G_{в.а}}{G_{а.0}} \cdot \exp\left[-\frac{j_1}{W_{э.а}}\right],$$

где $G_{а.0} = 1$ – статистическая сумма основного состояния атома; $j_1 = 8,32$ эВ – энергия возбуждения атома ксенона; n_1 – концентрация атомов ксенона, находящихся в основном состоянии, определяемая соотношением [7]:

$$n_1 = \frac{\rho_1}{M_1} \cdot N_A,$$

где ρ_1 – плотность ксенона при температуре $T_0 = 300$ К и давлении $P_0 = 80$ кПа; T_0 – температура воздуха, окружающего ИКЛ, равная температуре стенок колбы ИКЛ; $M_1 = 0,1313$ кг/моль – молярная масса ксенона; $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авогадро.

Статистическая сумма возбужденных состояний атома находится из выражения [8]

$$G_{в.а} = \sum_{y=1}^9 g_{а.у} \cdot \exp\left[-\frac{W_{а.у} - W_{а.0}}{W_{э.а}}\right],$$

где y – номер энергетического состояния атома; $g_{а.у}$ – статистические веса возбужденных состояний атома: $g_{а.0} = 1$, $g_{а.1} = 5$, $g_{а.2} = 3$, $g_{а.3} = 1$, $g_{а.4} = 3$, $g_{а.5} = 3$, $g_{а.6} = 5$, $g_{а.7} = 7$, $g_{а.8} = 3$, $g_{а.9} = 5$; $W_{а.у}$ – энергии термов атома: $W_{а.1} = 8,315$ эВ, $W_{а.2} = 8,436$ эВ, $W_{а.3} = 9,447$ эВ, $W_{а.4} = 9,57$ эВ, $W_{а.5} = 9,58$ эВ, $W_{а.6} = 9,686$ эВ, $W_{а.7} = 9,721$ эВ, $W_{а.8} = 9,789$ эВ, $W_{а.9} = 9,821$ эВ.

Энергия основного терма атома $W_{а.0}$ равна

$$W_{а.0} = \frac{3}{2} \cdot \frac{k \cdot T_0}{Z_1},$$

где $Z_1 = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ Дж/эВ.

Суммарная средняя энергия электронов $W_{э.а}$ в возбужденном атоме ксенона рассчитывается по формуле

$$W_{э.а} = \frac{N_{э.а}}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{k \cdot T_э}{Z_1}.$$

Плотность плазмы $\rho_{пл}$ на данной стадии находится из соотношения, полученного авторами с учетом [2, 5, 6, 8]:

$$\rho_{\text{пл}} = (m_{\text{и}} + m_{\text{э}}) \cdot \frac{(U_{\text{л}} - U_{\text{а}} - U_{\text{к}}) \cdot D_1 \cdot T_{\text{э}}^{\frac{3}{2}}}{H_1 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{N_{\text{э.а}} \cdot k}{m_{\text{э}}}}} + m_{\text{а}} \cdot n_{\text{в.а}},$$

где $N_{\text{э.а}} = 8$ – число валентных электронов в атоме ксенона; $m_{\text{и}} = 2,18 \cdot 10^{-25}$ кг – масса иона ксенона; $m_{\text{а}} = m_{\text{и}} + m_{\text{э}}$ – масса атома ксенона.

Ксеноновая плазма излучает в спектральном диапазоне длин волн $\lambda \in [0; \infty)$ [2–4]. Формула для расчета мощности излучения плазменного канала имеет вид [9]

$$N_4 = \frac{8 \cdot \pi \cdot h}{c^2} \cdot A_{\text{к}} \cdot \left(\frac{k \cdot T_{\text{э}}}{h} \right)^4 \cdot s_{\text{б.к}} \cdot \int_0^{\infty} \frac{x^3}{\exp(x) - 1} \cdot dx. \quad (6)$$

Средний спектральный относительный коэффициент излучения $A_{\text{к}}$ цилиндрического ксенонового плазменного канала, полученный авторами с учетом [4, 7], находится по формуле

$$A_{\text{к}} \approx 1 - \exp \left[- \frac{B_1 \cdot \rho_{\text{пл}} \cdot R_{\text{г}} \cdot T_{\text{и}} \cdot 2 \cdot r_{\text{к}}}{\left(1 - b_{\text{кр}} \cdot \frac{\rho_{\text{пл}}}{M_1} \right) \cdot M_1 \cdot (T_{\text{э}})^3} \cdot \exp \left(- \frac{j_{\text{и.а}}}{k \cdot T_{\text{э}}} \right) \right], \quad (7)$$

где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость излучения; $k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; $B_1 = 7,9 \cdot 10^{13}$ К³/(Па·м) [4]; $R_{\text{г}} = 8,314$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная; $M_1 = 0,1313$ кг/моль – молярная масса ксенона; $b_{\text{кр}} = \frac{R_{\text{г}} \cdot T_{\text{кр}}}{8 \cdot P_{\text{кр}}}$ – критическая постоянная из уравнения Ван-дер-Ваальса; $T_{\text{кр}} = 289,734$ К – критическая температура ксенона; $P_{\text{кр}} = 5,84$ МПа – критическое давление ксенона; $r_{\text{к}}$ – радиус плазменного канала; $j_{\text{и.а}}$ – энергия излучения атома ксенона.

При расчете мощности излучения ИКЛ следует учесть, что ИКЛ типа ИСП250 излучает в спектральном диапазоне длин волн $\lambda \in [\lambda_1 = 180 \text{ нм}; \lambda_2 = 1100 \text{ нм}]$ [2–4]. Формула для расчета мощности излучения ИКЛ имеет вид [9]

$$N_{\text{изл}} = \gamma_1 \cdot \frac{8 \cdot \pi \cdot h}{c^2} \cdot A_{\text{к}} \cdot \left(\frac{k \cdot T_{\text{э}}}{h} \right)^4 \cdot s_{\text{б.к}} \cdot \int_{\frac{T_{\text{изл.2}}}{T_{\text{э}}}}^{\frac{T_{\text{изл.1}}}{T_{\text{э}}}} \frac{x^3}{\exp(x) - 1} \cdot dx, \quad (8)$$

где $T_{\text{изл.1}} = \frac{h \cdot c}{k \cdot \lambda_1}$; $T_{\text{изл.2}} = \frac{h \cdot c}{k \cdot \lambda_2}$; γ_1 – относительный коэффициент пропускания излучения кварцевых стенок колбы ИКЛ.

Энергия излучения атома ксенона на стадии расширения плазменного канала равна $j_{\text{и.а}} = j_{\text{и.а.эфф}}$, где $j_{\text{и.а.эфф}} = 1,875 \cdot 10^{-18}$ Дж – эффективная энергия излучения атома ксенона. Электронная температура ксенонового плазменного канала $T_{\text{э}}$ на стадии его расширения равна электронной температуре образования ксеноновой плазмы $T_{\text{э.о}} = 6400$ К: $T_{\text{э}} = T_{\text{э.о}}$.

Площадь боковой поверхности и радиус расширяющегося плазменного канала определяются следующим образом [2, 5, 6]:

$$s_{\text{б.к}} = 2 \cdot \pi \cdot H_1^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\frac{i_{\text{л}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{к}} \cdot (U_{\text{л}} - U_{\text{а}} - U_{\text{к}})}}, \quad (9)$$

$$r_{\text{к}} = \sqrt{\frac{H_1 \cdot i_{\text{л}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{к}} \cdot (U_{\text{л}} - U_{\text{а}} - U_{\text{к}})}},$$

где $\sigma_{\text{к}}$ – удельная электрическая проводимость плазменного канала.

Формула для расчета мощности теплоотдачи N_5 из расширяющегося плазменного канала в воздух, окружающий ИКЛ и находящийся при температуре T_0 , через граничную область, холодный ксенон и стенки колбы ИКЛ имеет вид [7]

$$N_5 = \chi_1 \cdot s_{б.к} \cdot \frac{T_{и} - T_0}{\Delta l}, \quad (10)$$

где $\chi_1 = 3 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности ксенона; $\Delta l = 0,2$ мм – толщина граничной области с ксеноном, в которой его температура падает от величины ионной температуры плазменного канала до температуры ксенона, находящегося при температуре T_0 .

Расчет переходной характеристики тока в ИКЛ $i_{л}(t)$ на стадии расширения плазменного канала произведен в результате численного решения уравнения баланса мощностей, выведенного авторами из выражений (2)–(4), (6), (10):

$$\begin{aligned} i_{л} \cdot U_{ст} = \rho_{пл} \cdot \left[C_{р.о} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_k} + T_{и}(i_{л}) \right) + \varpi_{пл.о} \right] \cdot \frac{H_1}{\sigma_k \cdot E_{ст}} \cdot \frac{di_{л}}{dt} + \\ + \frac{8 \cdot \pi \cdot h}{c^2} \cdot A_k(i_{л}) \cdot \left(\frac{k \cdot T_{э.о}}{h} \right)^4 \cdot s_{б.к}(i_{л}) \cdot \int_0^{\infty} \frac{x^3}{\exp(x) - 1} \cdot dx + \\ + \chi_1 \cdot s_{б.к}(i_{л}) \cdot \frac{T_{и}(i_{л}) - T_0}{\Delta \ell}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $T_{и}(i_{л})$, $A_k(i_{л})$, $s_{б.к}(i_{л})$ – зависимости, приведенные в выражениях (5), (7), (9). По рассчитанной переходной характеристике тока накачки $i_{л}(t)$ в ИКЛ из уравнения (11) и формул (1), (8) построены переходные характеристики мгновенной электрической мощности $N_{эл}(t)$, поступающей в ИКЛ, и мгновенной мощности излучения ИКЛ $N_{изл}(t)$.

Стадия увеличения температуры равновесного плазменного канала. Электрическая энергия $W_{эл.2}$, поступившая в ИКЛ за длительность этой стадии $t_{21} = t_2 - t_1$, рассчитывается по формуле (1). Текущее время на рассматриваемой стадии лежит в интервале $t \in (t_1; t_2)$. На этой стадии ионная температура плазменного канала равна его электронной температуре $T_{и} = T_э$. Объемная плотность ксеноновой плазмы $\rho_{пл}$ в равновесном плазменном канале равна плотности ксенона ρ_1 в ИКЛ, находящегося при температуре $T_0 = 300$ К и давлении $P_0 = 80$ кПа [3, 4], $\rho_{пл} = \rho_1$. Площадь боковой поверхности равновесного плазменного канала $s_{б.к}$ равна максимально возможной площади боковой поверхности $S_{б.к.м}$ установившегося по объему плазменного канала

$$S_{б.к.м} = 2 \cdot \pi \cdot R_{к.м} \cdot H_1,$$

где $R_{к.м}$ – максимально возможный радиус установившегося по объему плазменного канала.

Максимально возможный объем равновесного плазменного канала $V_{к.м}$ равен

$$V_{к.м} = \pi \cdot R_{к.м}^2 \cdot H_1.$$

Электрическая мощность $N_{эл.ст}$, поступающая в положительный столб равновесного плазменного канала, расходуется на мощность нагрева равновесного плазменного канала N_2 , мощность излучения N_4 и мощность теплоотдачи N_5 из равновесного плазменного канала в воздух, окружающий ИКЛ и находящийся при температуре T_0 , через пристеночную граничную область с ксеноном, сжатым до высокого давления, и стенки колбы ИКЛ. На рассматриваемой стадии уравнение баланса мощностей выглядит следующим образом:

$$N_{эл.ст} = N_2 + N_4 + N_5. \quad (12)$$

Электрическая мощность $N_{эл.ст}$, поступающая в положительный столб равновесного плазменного канала, определяется по формуле (3).

Мощность, идущую на нагрев равновесного плазменного канала, можно представить в виде

$$N_2 \approx \rho_{пл} \cdot C_v \cdot V_{к.м} \cdot \frac{dT_{и}}{dt}, \quad (13)$$

где $V_{к.м}$ – объем равновесного плазменного канала; C_v – удельная теплоемкость равновесного плазменного канала при постоянном объеме, рассчитываемая по формуле Майера

$$C_v = C_p - \frac{R_{г}}{M_1}.$$

Удельная теплоемкость C_p равновесной ксеноновой плазмы при квазистационарном давлении начинает изменяться, когда температура последней превышает электронную температуру образования плазмы $T_{э,0}$. При этом C_p рассчитывается по эмпирической формуле [10, 11]

$$C_p = C_{p,0} \cdot \exp(\beta_c \cdot (T_i - T_{э,0})),$$

где $\beta_c = 6 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$.

Мгновенная ионная температура T_i цилиндрического равновесного ксенонового плазменного канала связана с током накачки $i_{л}$ в ИКЛ следующей эмпирической зависимостью [2, 5, 6]:

$$T_i = T_э = \sqrt{\frac{\sigma_k}{D_1}} = \sqrt{\frac{H_1 \cdot i_{л}}{\pi \cdot R_{к.м}^2 \cdot D_1 \cdot (U_{л} - U_{а} - U_{к})}}, \quad (14)$$

где $D_1 = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ СМ}/(\text{М} \cdot \text{К}^2)$. В начале стадии увеличения температуры равновесного плазменного канала его температура $T_i(t_1)$ равна электронной температуре образования плазмы $T_{э,0}$, а величина тока накачки в ИКЛ рассчитывается по формуле

$$i_{л}(t_1) = D_1 \cdot T_{э,0}^2 \cdot (U_{л} - U_{а} - U_{к}) \cdot \pi \cdot \frac{R_{к.м}^2}{H_1}.$$

Мощность излучения ИКЛ $N_{изл}$ на рассматриваемой стадии определяется по формуле (8), а средний спектральный относительный коэффициент излучения A_k цилиндрического ксенонового плазменного канала рассчитывается по формуле (7). Расчет переходной характеристики тока накачки в ИКЛ $i_{л}(t)$ на стадиях увеличения и поддержания температуры равновесного плазменного канала произведен в результате численного решения уравнения баланса мощностей (12), которое с помощью формул (3), (6), (10), (13) приведено к виду

$$i_{л} \cdot U_{ст} = \rho_{пл} \cdot C_v \cdot V_k \cdot \frac{dT_i(i_{л})}{dt} + \frac{8 \cdot \pi \cdot h}{c^2} \cdot A_k(i_{л}) \cdot \left(\frac{k \cdot T_э(i_{л})}{h} \right)^4 \cdot S_{б.к.м} \cdot \int_0^\infty \frac{x^3}{\exp(x) - 1} \cdot dx + \chi_1 \cdot S_{б.к.м} \cdot \frac{T_i(i_{л}) - T_0}{\Delta \ell}, \quad (15)$$

где $T_i(i_{л}) = T_э(i_{л})$, $A_k(i_{л})$ – зависимости, представленные в выражениях (7), (14). По рассчитанной переходной характеристике тока накачки $i_{л}(t)$ в ИКЛ из уравнения (15) и выражений (1), (8) рассчитаны переходные характеристики мгновенной электрической мощности $N_{эл}(t)$, поступающей в ИКЛ, и мгновенной мощности излучения ИКЛ $N_{изл}(t)$.

Стадия поддержания температуры равновесного плазменного канала. Электрическая энергия $W_{эл,3}$, поступившая в ИКЛ за длительность данной стадии $t_{32} = t_3 - t_2$, рассчитывается по формуле (1). Текущее время на рассматриваемой стадии лежит в интервале $t \in (t_2; t_3)$. На этой стадии $T_i = T_э$, $\rho_{пл} = \rho_1$, $S_{б.к} = S_{б.к.м}$, $r_k = R_{к.м}$. Мгновенная температура $T_э$ цилиндрического равновесного ксенонового плазменного канала связана с током накачки $i_{л}$ в ИКЛ по формуле (14).

Мощность излучения ИКЛ $N_{изл}$ на данной стадии рассчитывается по формуле (8). При этом на рассматриваемой стадии средний спектральный относительный коэффициент излучения A_k цилиндрического равновесного плазменного канала принимает максимальное значение, так как плазма насыщена собственным излучением.

Отношение энергии излучения ИКЛ $W_{изл}$ за время импульса тока $t_t = t_3$ к электрической энергии $W_{эл}$, поступившей за время t_t в ИКЛ, определяет средний коэффициент полезного действия (КПД) ИКЛ $\langle \eta_{л} \rangle$:

$$\langle \eta_{л} \rangle = \frac{W_{изл}}{W_{эл}} = \frac{\int_0^{t_1} N_{изл,1} \cdot dt + \int_{t_1}^{t_2} N_{изл,2} \cdot dt + \int_{t_2}^{t_3} N_{изл,3} \cdot dt}{\int_0^{t_1} N_{эл,1} \cdot dt + \int_{t_1}^{t_2} N_{эл,2} \cdot dt + \int_{t_2}^{t_3} N_{эл,3} \cdot dt}. \quad (16)$$

Эксперимент

Экспериментально исследовалась эффективность накачки ИКЛ типа ИСП250, работающей в электрической схеме накачки, представленной на рис. 1.

На рис. 2 представлена расчетная (пунктирная кривая) переходная характеристика $N_{эл}(t)$, полученная по уравнениям (11), (15) и (1) при следующих величинах параметров ИКЛ и режима работы: $E_1 = U_c(0) = 160$ В, $t_r = 200$ мкс, $U_{д.д} = 48$ В, $I_d = 0,9$ А, $U_a = U_k = 3$ В, $R_{к.м} = 2,3 \cdot 10^{-3}$ м, $H_1 = 40 \cdot 10^{-3}$ м, $T_{э.о} = 6400$ К, $\lambda_1 = 1,8 \cdot 10^{-7}$ м, $\lambda_2 = 1,1 \cdot 10^{-6}$ м, $\gamma_1 = 0,92$, $\rho_1 = 4,234$ кг/м³ – плотность ксенона в ИКЛ при температуре $T_0 = 300$ К и давлении $P_0 = 80$ кПа; $\rho_{пл.д} = 0,721$ кг/м³, $T_{и.д} = 2450$ К, $P_{пл.д} = 111,9$ кПа, $A_{пл.д} = 1,88 \cdot 10^{-5}$, $R_{к.д} = 4,562 \cdot 10^{-4}$ м – плотность, ионная температура, давление, средний спектральный относительный коэффициент излучения, радиус плазменного канала на стадии поддержания тока дежурной дуги соответственно. На этом же рисунке приведена экспериментальная (сплошная кривая) переходная характеристика $N_{эл}(t)$, снятая в электрической схеме накачки ИКЛ, показанной на рис. 1, при тех же значениях параметров ИКЛ и том же режиме работы. Как следует из рис. 2, расчетная и экспериментальная кривые хорошо согласуются по форме импульса и порядку измеренных величин. Это свидетельствует об адекватности предложенной физико-математической модели.

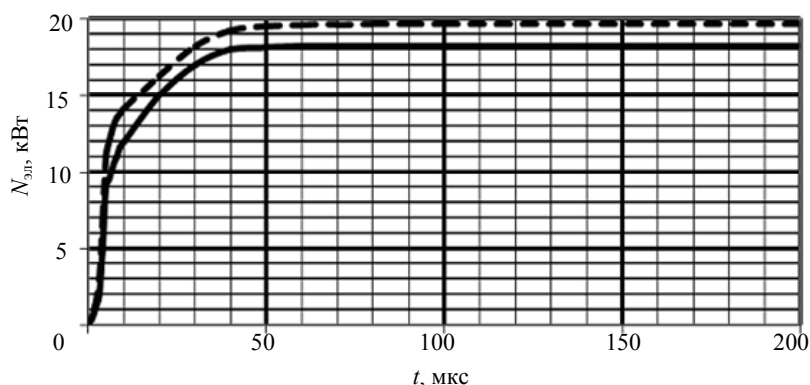


Рис. 2. Переходные характеристики электрической мощности, поступающей в импульсную ксеноновую лампу: пунктирная – расчетная кривая; сплошная – экспериментальная кривая

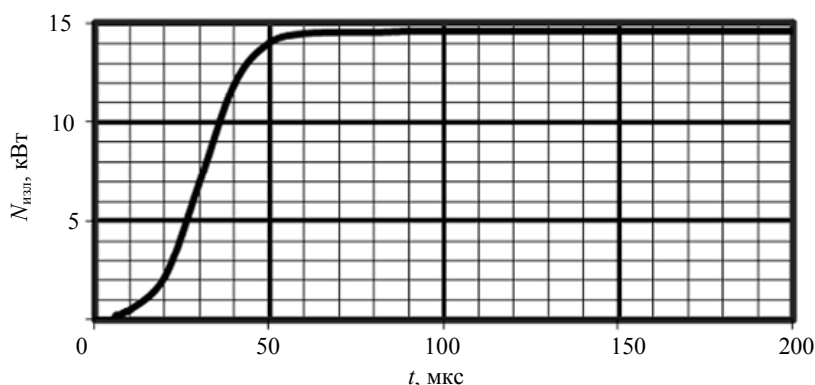


Рис. 3. Расчетная переходная характеристика мощности излучения импульсной ксеноновой лампы

На рис. 3 приведена расчетная переходная характеристика $N_{изл}(t)$ в процессе формирования импульса накачки, рассчитанная по уравнениям (11), (15) и (8) при тех же вышеуказанных значениях параметров и том же режиме работы ИКЛ. Из сопоставления расчетных переходных характеристик $N_{эл}(t)$ и $N_{изл}(t)$, изображенных на рис. 2, 3, с учетом формулы (16) следует, что за длительность импульса тока накачки $t_r = 200$ мкс электрическая энергия, поступившая в ИКЛ, составила $W_{эл} = 3,778$ Дж, а энергия излучения ИКЛ – $W_{изл} = 2,458$ Дж. Этому соответствует средний КПД ИКЛ $\langle \eta_l \rangle = 0,651 = 65,1\%$. С увеличением длительности импульса тока накачки КПД ИКЛ растет и в пределе достигает 80%.

На рис. 4 приведены экспериментальная и расчетная переходные характеристики нормированных мощностей излучения ИКЛ $\| N_{изл} \|$ относительно их амплитудных величин. Расчетная переходная характеристика нормированной мощности излучения ИКЛ построена по уравнениям (11), (15) и (8) при вышеуказанных значениях параметров и режиме работы, а экспериментальная переходная характеристика нормированной мощности излучения ИКЛ снята с фотодиода VD1. Как видно из рис. 4, расчетная и экспериментальная кривые хорошо согласуются как по форме, так и по порядку измеренных величин.

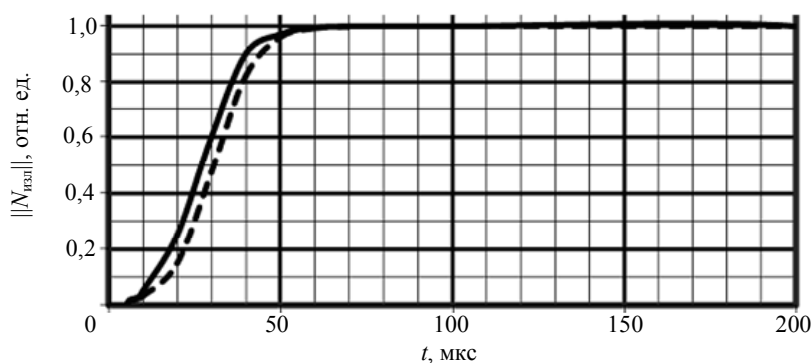


Рис. 4. Переходные характеристики нормированной мощности излучения импульсной ксеноновой лампы: пунктирная – расчетная кривая; сплошная – экспериментальная кривая

Заключение

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований:

- показано, что при работе импульсной ксеноновой лампы в электрической схеме накачки на основе модулятора с частичным разрядом накопительной емкости с коммутирующим IGBT-транзистором ток накачки в лампе ограничен параметрами самой лампы;
- представлен анализ физических процессов в импульсной ксеноновой лампе при работе в режиме ограничения тока накачки параметрами самой лампы;
- построена физико-математическая модель процесса формирования плазменного канала в импульсной ксеноновой лампе в течение импульса тока накачки при ограничении тока самой лампой;
- определен средний коэффициент полезного действия преобразования электрической энергии, поступившей в импульсную ксеноновую лампу за длительность импульса тока накачки, в энергию излучения ее при ограничении тока самой лампой;
- показано, что на стадии увеличения температуры равновесного плазменного канала ксеноновая плазма насыщается собственным излучением, поэтому на стадии поддержания температуры равновесной плазмы средний спектральный относительный коэффициент излучения плазменного канала достигает максимальной величины, которая составляет сотые доли относительных единиц.

Литература

1. Мандрыко Ю.А., Тогатов В.В. Исследование физических процессов в импульсной ксеноновой лампе при ограничении тока накачки внешней электрической цепью // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 6 (76). – С. 28–34.
2. Мак А.А., Яшин В.Е., Сомс Л.Н., Фромзель В.А. Лазеры на неодимовом стекле. – М.: Наука, 1990. – 288 с.
3. Маршак И.С. Импульсные источники света. – М.: Энергия, 1978. – 472 с.
4. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 592 с.
6. Райзер Ю.П. Основы современной физики газоразрядных процессов. – М.: Наука, 1980. – 415 с.
7. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1990. – 591 с.
8. Радциг А.А., Смирнов Б.М. Справочник по атомной и молекулярной физике. – М.: Атомиздат, 1980. – 240 с.
9. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. – 2-е изд. – М.: Наука, 1966. – 688 с.
10. Глушко В.П., Гурвич Л.В. и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. – Т. 1. – М.: Наука, 1978. – 328 с.
11. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 721 с.

Мандрыко Юрий Анатольевич

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, старший преподаватель, mandryko1@rambler.ru

Тогатов Вячеслав Вячеславович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, v.togatov@mail.ru

УДК 519.816

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

И.Б. Бондаренко, Ю.А. Гатчин, В.Н. Гераничев

Рассмотрены принципы синтеза нейронных сетей, показаны недостатки подходов при выборе структуры и настройке весов. Оптимизация сетей возможна с применением эволюционных алгоритмов, обладающих преимуществами, которые проявляются при работе с многосвязными и многослойными сетями. Проведенные имитационные эксперименты на конкретной тестовой функции подтверждают эффективность разработанных алгоритмов.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, генетический алгоритм, кластерный анализ, нейрон, хромосома, обратное распространение ошибки, тестовая функция Бранинса.

Введение

Интеллектуальные системы на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяют с успехом решать проблемы распознавания образов, классификации, аппроксимации функций, выполнения прогнозов, оптимизации и управления. Создание ИНС сводится к выполнению следующих этапов:

- синтез структуры ИНС;
- настройка весов всех нейронов ИНС (обучение).

В настоящее время для реализации перечисленных задач не существует строгих методов решения, даются лишь рекомендации. Предлагаемые алгоритмы направлены на решение локальных задач, из-за чего структура ИНС оказывается неудовлетворительной, а время обучения – большим. В этом случае приходится создавать сеть и производить расчеты заново. Еще меньшее внимание уделяется исследователями построению многослойных несимметричных ИНС, характеризующихся сложностью и многовариантностью.

Для создания структуры и настройки весов сети (стратегия обучения «с учителем») авторами [1] предлагаются подходы, основанные на использовании эволюционных алгоритмов. Однако предлагаемые процедуры позволяют получить лишь один вариант структуры ИНС. В настоящей работе авторами предлагается разработанный модифицированный генетический алгоритм (МГА) совместно с кластерным анализом всех возможных вариантов, с целью получения полного множества оптимальных вариантов построения ИНС. Такой подход позволит расширить множество анализируемых альтернатив в системах принятия решений, основанных на применении ИНС: интеллектуальных автоматизированных систем проектирования, экспертных систем, систем управления и т.п.

Постановка задачи

Основу ИНС составляют нейроны, имеющие строение, сходное с биологическими аналогами. Каждый нейрон можно представить как микропроцессор с несколькими входами и одним выходом. Синаптические веса W_i оказывают влияние на выходной сигнал нейрона NET [2, 3]:

$$NET = \sum_i^k W_i X_i,$$

где k – количество входов нейрона; X_i – i -й вход нейронной сети. С помощью блока нелинейного преобразователя окончательно формируется выходной сигнал OUT_i . В нелинейном преобразователе в качестве преобразующей (сжимающей) использована сигмоидальная функция. При объединении нейронов между собой образуется структура – нейронная сеть. Выстроенные вертикально нейроны образуют слои: входной, внутренний/внутренние и выходной. Количество слоев определяет сложность и, в то же время, функциональность сети, которая до конца не исследована.

Для исследователей выполнение первого этапа создания сети является наиболее сложной задачей. В литературе даются следующие рекомендации [4].

1. Число нейронов скрытого слоя определяется эмпирическим путем, но в большинстве случаев используется правило

$$N_{\text{скр}} \leq N_{\text{вх}} + N_{\text{вых}},$$

где $N_{\text{скр}}$, $N_{\text{вх}}$, $N_{\text{вых}}$ – число нейронов соответственно в скрытом, входном и выходном слое.

2. Увеличение количества входов и выходов сети ведет к необходимости увеличения числа нейронов в скрытом слое.
3. Для ИНС, моделирующей многоэтапные процессы, необходим дополнительный скрытый слой, но, с другой стороны, добавление скрытых слоев может привести к перезапоминанию и к неверному решению на выходе сети.

С учетом приведенных рекомендаций количество слоев и число нейронов в скрытых слоях выбирается исследователем, исходя из его личного опыта.

Для выполнения этапа обучения ИНС разработано множество алгоритмов. Наибольшее распространение получил метод обратного распространения ошибки, который позволяет подстраивать веса в

многослойных сложных ИНС с помощью обучающих наборов. По рекомендации Е. Баума и Д. Хасслера [2] объем обучающего множества прямо пропорционален количеству всех весов ИНС и обратно пропорционален доле ошибочных решений при работе обученной сети.

Недостатки алгоритма обратного распространения, с которыми сталкиваются исследователи, несмотря на все разработанные модификации, заключаются в следующем. Процесс обучения может длиться достаточно долго, а может никогда не закончиться. Чрезмерное увеличение весов ИНС может привести к «параличу» сети, когда синаптические веса перестанут изменяться, не достигнув конца обучения. Величину шага необходимо постоянно подстраивать, сеть необходимо постоянно «доучивать», так как она постепенно «забывает» предыдущие обучающие наборы, которым она была обучена. Все эти недостатки приводят к тому, что разработка ИНС под конкретную задачу сильно усложняется. Наше исследование в рамках данной работы посвящено выполнению только второго этапа.

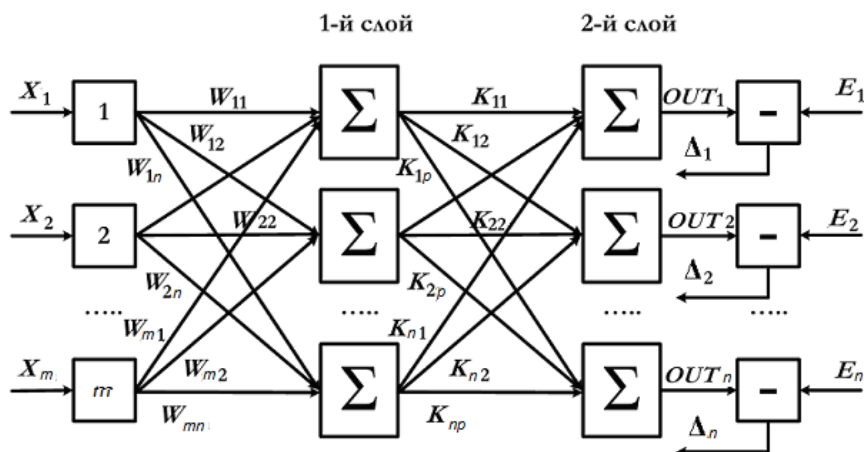


Рис. 1. Принцип обучения ИНС методом обратного распространения ошибки

Математически задача подбора весов состоит в оптимизации функции ошибки R или показателя качества обучения (рис. 1)

$$R_{opt} = \min(R), R = \frac{1}{2N_s} \sum_{i=1}^{N_s} (OUT_i - E_i)^2, \quad (1)$$

где N_s – мощность множества обучающих пар; OUT_i – полученное с помощью сети значение выходного нейрона при i -м наборе обучения; E_i – требуемое значение выходного нейрона при i -м наборе обучения.

Каждая i -я ошибка Δ_i будет определяться как расхождение между значением на i -м выходе сети и i -м обучающим значением

$$\Delta_i = OUT_i - E_i, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Разработанный метод решения

Функция ошибки (1) является негладкой и многоэкстремальной, а решением задачи обучения является нахождение ее экстремума. При этом решение будет означать реализацию весов ИНС. Классические методы решения такой задачи, такие как градиентный спуск, метод Ньютона, метод многошаговой редукции размерности, стохастические методы [5], позволяют получить только одно решение задачи оптимизации.

Исследователями делаются попытки использовать для решения задачи оптимизации функции ошибки генетические алгоритмы (ГА). ГА основаны на параллельной обработке конкурирующих вариантов, а их основными достоинствами являются достаточно быстрая сходимость и нечувствительность к локальным экстремумам.

Основными процедурами ГА являются генерация вариантов, отбор, скрещивание и мутация. Разработано большое число модификаций ГА, в том числе мультиколониальные и с управляемым поиском.

Авторами предложен МГА для поиска множества оптимальных решений, в котором особь представляет один из конкурирующих вариантов. В работе использовано вещественное кодирование, при котором гены в хромосоме – вещественные числа, а не биты. Процедура отбора состоит в определении приспособленности хромосомы, которая вычисляется по формуле [6]

$$p_i = \frac{f(Hr_i)}{\sum_{i=1}^{N_{hr}} f(Hr_i)}, \quad (2)$$

где $f(Hr_i)$ – пригодность i -й хромосомы; N_{hr} – количество хромосом или размер популяции.

Более приспособленные особи скрещиваются, и из потомков образуются новые варианты, которые можно оценить с помощью (2). Каждая особь содержит информацию о связях в сети между нейронами и ее весах. Таким образом, можно подстраивать как веса, так и структуру ИНС. Структурная схема алгоритма решения поставленной задачи представлена на рис. 2. С ростом числа хромосом N_{hr} , количество которых задает пользователь, прямо пропорционально возрастает и размер генофонда. В результате отбора, скрещивания и мутации постепенно формируется множество решений.

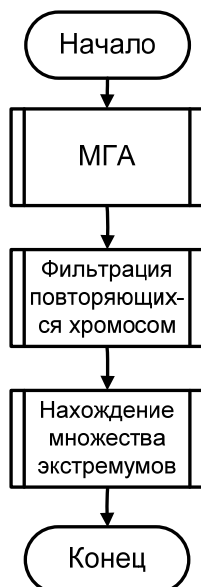


Рис. 2. Структурная схема разработанного алгоритма

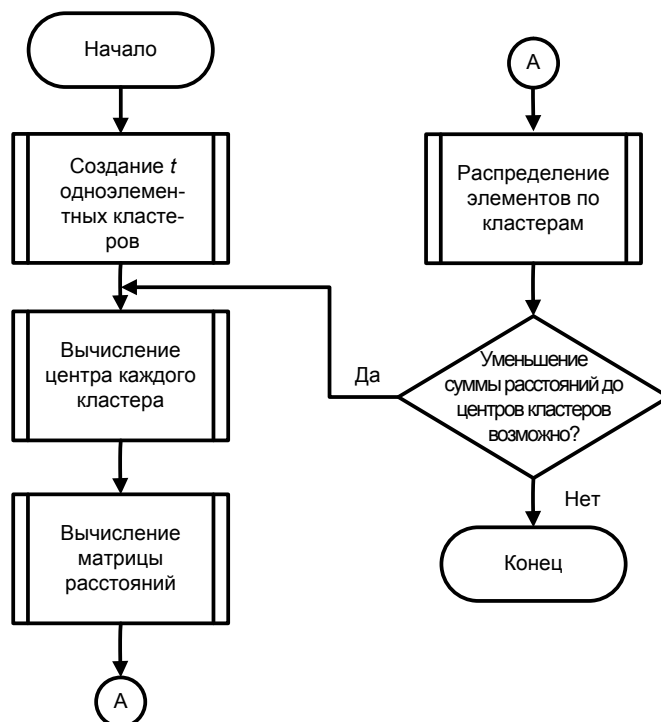


Рис. 3. Структурная схема алгоритма кластеризации данных

Для реализации последней процедуры – нахождения множества решений – использован иерархический метод теории кластерного анализа *K-средних* [7]. Использована стратегия объединения исходных данных в кластеры. Изначально каждому наблюдению соответствует свой кластер (рис. 3). Далее выполняется процедура определения центра μ_j , $j=1, 2, \dots, t$ каждого из t кластеров, компоненты которого вычисляются как среднее арифметическое наблюдений, входящих в этот кластер. В центре каждого кластера j вычисляется сумма квадратов расстояний от j -го центра до i -го элемента b_i

$$V = \sum_{j=1}^l \sum_{b_i \in S_j} (b_i - \mu_j(b_i))^2,$$

где S_j – полученные кластеры; $\mu_j(b_i)$ – центры масс векторов $b_i \in S_j$. Затем минимизируется суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров μ_j .

Результат проверки расстояния от каждого элемента до центра его кластера показывает, следует ли повторить процедуру или закончить выполнение алгоритма.

Экспериментальное исследование алгоритма

Для проведения имитационного эксперимента в качестве функции ошибки (1) была использована тестовая функция Бранинса (Branin's rcos function) [6]:

$$Q(a_1, a_2) = (a_2 - \frac{5,1}{4\pi^2} a_1^2 + \frac{5}{\pi} a_1 - 6)^2 + 10 \cdot (1 - \frac{1}{8\pi}) \cdot \cos(a_1) + 10.$$

Аргументы a_1 и a_2 , изменялись на интервале $[-10; 20]$ для достижения минимума функции $Q(a_1, a_2)$. Сложность поиска состоит в том, что функция Бранинса имеет четыре глобальных экстремума – минимума, расположенных вблизи друг от друга.

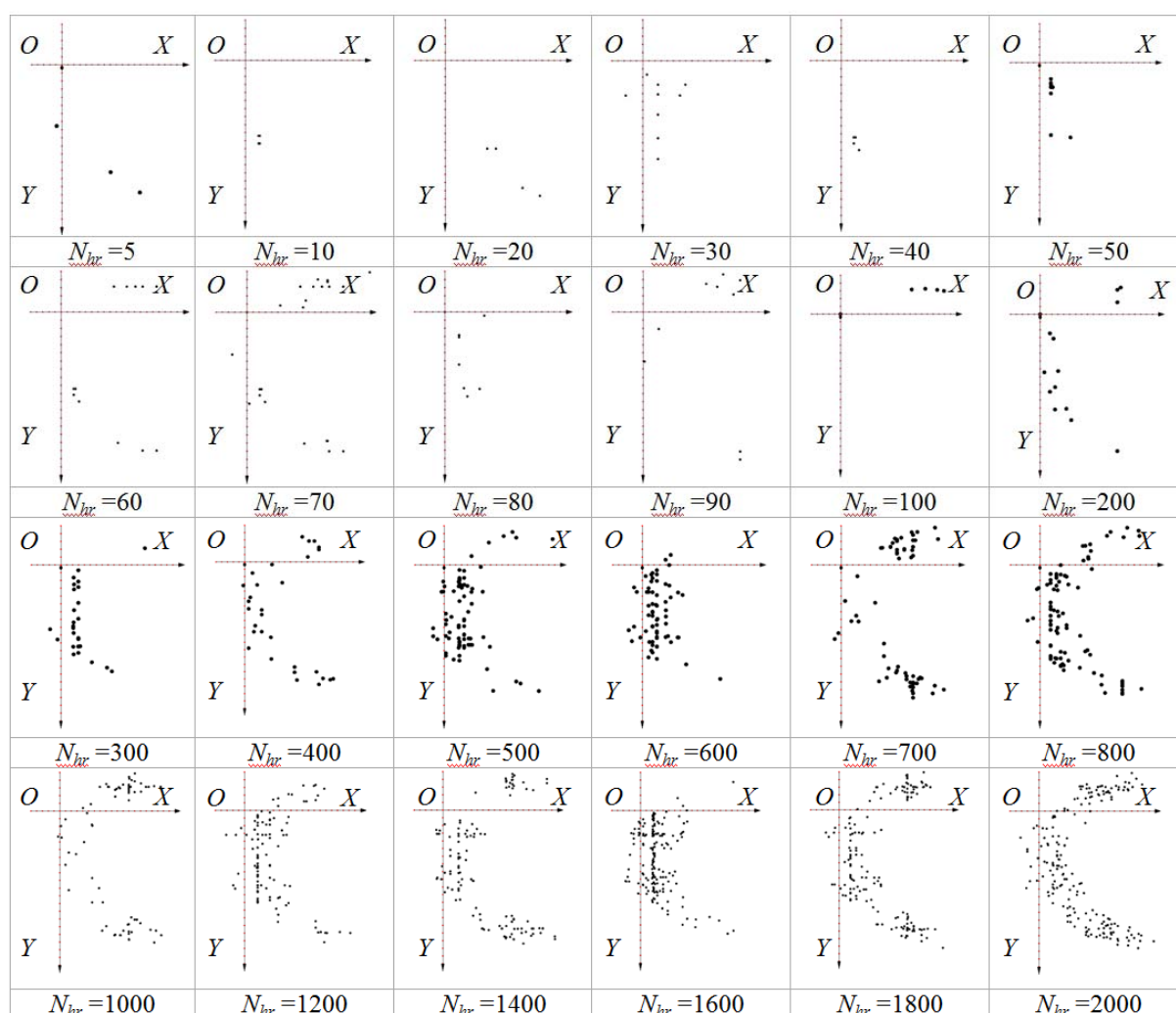


Рис. 4. Рост числа приближений с ростом числа хромосом (проекция на плоскость XOY)

При малом числе хромосом N_{hr} генофонд содержал одно оптимальное решение и несколько приближений к нему (рис. 4). С ростом параметра N_{hr} , возрастает и число попаданий в область всех четырех глобальных минимумов, а также приближений к ним. Исследования показали, что при превышении порога в 900 хромосом дальнейшее увеличение этого параметра приводит к росту числа приближений к истинному значению экстремумов функции $Q(a_1, a_2)$. Результаты получены для значения точности поиска 0,01.

Исследована процедура кластеризации. Исходным являлось множество, полученное в результате работы МГА (генофонд). За достаточное число хромосом принята величина 900. Мощность множества вариантов после фильтрации одинаковых решений (рис. 2) для функции Бранинса равна 83. Результаты работы алгоритма, представленного на рис. 3, приведены в таблице.

Номер найденного кластера	Координаты центра кластера (a_1, a_2)	Значение функции $Q(a_1, a_2)$ в центре кластера	Соответствующие координаты экстремума функции	Значение функции $Q(a_1, a_2)$ в точке экстремума
1	(8,9443;2,3523)	1,5515	(9,4248;2,475)	0,3979
2	(3,3686;1,6596)	0,8423	(3,141;2,275)	
3	(-3,1132;12,2195)	0,4019	(-3,141;12,275)	
4	(15,8464;13,3937)	0,5203	(15,714;12,900)	

Таблица. Результаты работы алгоритма кластеризации

Заключение

Предложена методика для синтеза оптимальной структуры искусственной нейронной сети, основанная на применении двух алгоритмов. Разработанный модифицированный генетический алгоритм, в отличие от классического, позволяет находить множество оптимальных вариантов. Предложенный метод кластеризации данных позволяет разделить области расположения оптимумов на области, в которых найденные центры кластеров максимально приближены к реальным экстремумам. По сравнению с методом обратного распространения ошибки разработанная процедура выгодно отличается тем, что подбор весов осуществляется вне зависимости от формы и количества локальных экстремумов. Это дает возможность при настройке весов нейронных сетей, а впоследствии и ее структуры, отыскать множество оптимальных вариантов, что предоставляет исследователю больше вариантов реализации сложных систем в процессе принятия технических решений. Для развития предложенного подхода планируется разработать алгоритмы настройки структуры искусственной нейронной сети.

Литература

1. Курейчик В.В. Эволюционные, синергетические и гомеостатические методы принятия решений: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. – 99 с.
2. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. – М.: Мир, 1992. – 161 с.
3. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.
4. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб: Наука и техника, 2003. – 380 с.
5. Бондаренко И.Б. Методы оптимизации проектных решений и технология искусственного интеллекта в интегрированных САПР // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2005. – № 20. – С. 167–171.
6. Бондаренко И.Б., Гатчин И.Ю., Коробейников А.Г. Разработка модификации генетического алгоритма для поиска множества оптимальных решений тестовой функции. Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ч. 1. – Йошкар-Ола: Мар. ГТУ, 2011. – С. 111–115.
7. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Холод И.И., Тесс М.Д. Анализ данных и процессов. – СПб: БХВ-Петербург, 2009. – 331 с.

Бондаренко Игорь Борисович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, igorlitmo@rambler.ru

Гатчин Юрий Арменакович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, gatchin@mail.ifmo.ru

Гераничев Владимир Николаевич

– ФГУП Санкт-Петербургское ОКБ "Электроавтоматика", начальник отдела, geranichev@mail.ru

УДК 681.5.015

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА АЗИМУТАЛЬНОЙ ОСИ ТЕЛЕСКОПА

С.А. Тушев

Описывается способ получения математической модели электропривода азимутальной оси телескопа с помощью идентификации его параметров. Полученная модель используется для настройки прецизионной системы автоматического управления объектом, работа которой проверяется на реальном устройстве. Теоретические расчеты в значительной степени совпадают с практическими результатами, что показывает достоверность данного метода построения системы управления.

Работа представляет интерес для студентов, аспирантов, работников электротехнических специальностей, а также специальностей и направлений подготовки, связанных с теорией автоматического управления.

Ключевые слова: идентификация, электропривод, настройка, прецизионный электропривод, телескоп.

Введение

В настоящее время проблемы, связанные с созданием математических моделей технических объектов, технологических процессов, экономики и живой природы, формируют одно из основных направлений науки и техники – моделирование. Это объясняется тем, что математические модели объектов широко применяются на всем периоде работы с ними – от разработки до эксплуатации.

Система управления – неотъемлемая часть современного высокотехнологичного комплекса. Ее создание подразделяется на основные этапы: получение математической модели объекта, настройка системы автоматического управления (САУ) для этой модели и проверка работоспособности на реальном объекте. Самым сложным является первый этап, так как он подразумевает структурную и параметрическую идентификацию.

Существует множество методов решения задачи идентификации. В настоящей работе будет рассмотрена параметрическая идентификация модели электропривода азимутальной оси телескопа траекторных измерений типа «Сажень» с использованием пакета программ MATLAB и создание системы управления этим объектом. Выбор данного способа обуславливается тем, что он наиболее точен, так как все коэффициенты передаточной функции объекта определяются отдельно друг от друга. Это позволяет искать передаточную функцию объекта в любом виде – от простейшего аperiodического звена до сложных звеньев высоких порядков, в зависимости от требований к точности определения модели [1].

Идентификация параметров объекта

Известно, что реальная установка содержит вентильный двигатель (ВД), однако анализ переходных характеристик [2, 3] показал, что модель ВД с достаточной степенью точности соответствует модели двигателя постоянного тока (ДПТ), который описывается системой уравнений (1), учитывающей двухмассовый характер механической нагрузки. Двухмассовость обусловлена тем, что азимутальная ось телескопа в реальности не является абсолютно жесткой. По этой причине она условно разделяется на две массы, между которыми присутствует нежесткость.

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = -\frac{1}{T_f} i - \frac{C_e}{L} \Omega_1 + \frac{1}{L} u, \\ \frac{d\Omega_1}{dt} = \frac{C_m}{J_1} i - \frac{m}{J_1} \Omega_1 - \frac{c_{12}}{J_1} \alpha_1 + \frac{m}{J_1} \Omega_2 + \frac{c_{12}}{J_1} \alpha_2 - \frac{M_{r1}}{J_1} - K \cdot \alpha_{1_relative}, \\ \frac{d\alpha_1}{dt} = \Omega_1, \\ \frac{d\Omega_2}{dt} = \frac{m}{J_2} \Omega_1 + \frac{c_{12}}{J_2} \alpha_1 - \frac{m}{J_2} \Omega_2 - \frac{c_{12}}{J_2} \alpha_2 - \frac{M_{r2}}{J_2}, \\ \frac{d\alpha_2}{dt} = \Omega_2. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь K – коэффициент, учитывающий величину момента нагрузки от кабельного перехода; M_{r1} и M_{r2} – моменты трения на 1-ой и 2-ой массе соответственно; C_e и C_m – постоянные электродвигателя; J_1 и J_2 – приведенные моменты инерции; m – коэффициент демпфирования; c_{12} – коэффициент нежесткости связи между массами; T_f – электрическая постоянная времени.

На исследуемый объект воздействуют внешние возмущения – моменты трения и момент сопротивления, создаваемый кабельным переходом. Они определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} M_c(b) &= b \cdot |M_{c1,2}|, \quad b = \text{sign}(\Omega_{1,2}); \\ M(\alpha_{1_relative}) &= J_1 \cdot K \cdot \alpha_{1_relative}. \end{aligned}$$

Кабельный переход, являющийся конструктивной особенностью опорно-поворотного устройства телескопа, создает момент нагрузки, пропорциональный относительному углу поворота оси $\alpha_{1-relative}$ и действует только на первую массу.

С помощью пакета программ MATLAB/System Identification Toolbox [4] и MATLAB/Simulink осуществляется процедура идентификации параметров модели. Вначале регистрируется реакция разомкнутого объекта на определенное входное воздействие. Затем задается математическое описание системы в матрицах состояния (2).

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ke(t), \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) + e(t), \\ x(0) = x_0. \end{cases} \quad (2)$$

Начальные значения коэффициентов могут выбираться произвольно, однако рекомендуется принимать их близкими к реальным, так как это может сильно повлиять на результат идентификации. В данной структуре неизвестны следующие параметры: K , M_{r1} , M_{r2} , C_e , C_m , m . Остальные значения были определены опытным путем или были указаны в техническом задании. В качестве тестового сигнала выбран двусторонний меандр, так как при таком воздействии меняется знак скорости и могут быть учтены особенности, связанные с направлением вращения оси.

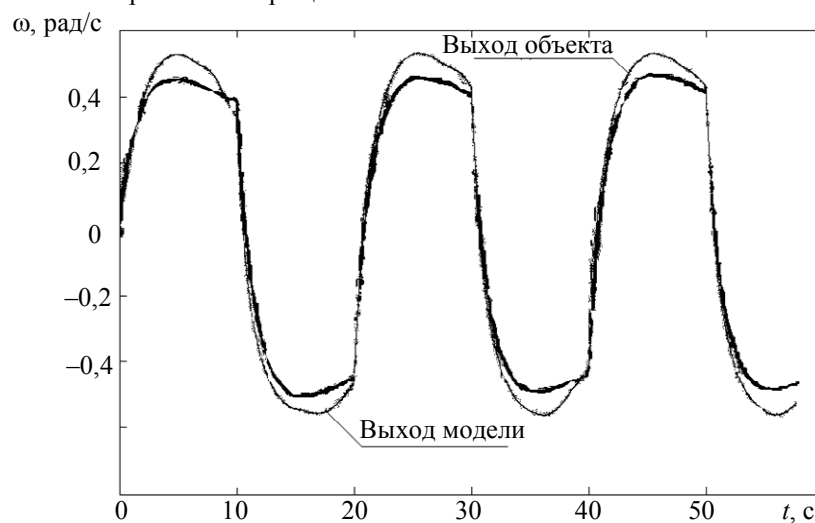


Рис. 1. Результат параметрической идентификации

После завершения выполнения задачи программа MATLAB возвращает модель системы в уравнениях состояния с найденными коэффициентами. График сравнения реальной системы и полученной модели представлен на рис. 1.

Выходом модели и объекта является скорость вращения азимутальной оси. Неполное совпадение (около 87,5%) обуславливается тем, что структурная схема модели не до конца соответствует объекту управления, а также погрешностью определения параметров. Несмотря на эти неточности, проведенная идентификация позволяет синтезировать систему САУ для модели с ДПТ.

Настройка САУ электропривода

Создание системы управления предполагает множество решений при помощи различных типов регуляторов. Распространенным решением является система подчиненного регулирования координат объекта, таких как вращающий момент или ток двигателя, скорость, положение.

Из-за особенностей объекта управления контур скорости замыкается по первой массе, так как на вторую массу невозможно установить датчик положения в рассматриваемом объекте. Свое влияние оказывает и тот факт, что система имеет высокий коэффициент жесткости, что позволяет представить ее в виде одностепенной для упрощения процедуры настройки САУ. При расчетах используется суммарный момент инерции, равный сумме приведенных моментов инерции обеих масс.

Контур скорости настраивается на технический оптимум (ТО) с помощью пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора с замедлением. Объект управления представляется как колебательное звено, а числитель регулятора компенсирует его. Следовательно, постоянная времени настроенной системы зависит только от постоянной времени фильтра T_u , входящего в структуру регулятора. Графики переходных процессов при скачке задающего воздействия представлены на рис. 2.

Реакции систем — эталонной и настроенной с ДПТ — на задание скорости имеют основные характеристики, представленные в табл. 1.

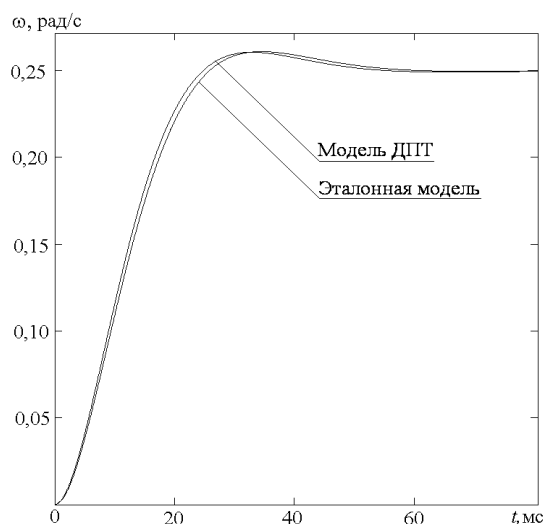


Рис. 2. Реакции модели с ДПТ, настроенной на ТО, и эталонной модели

Характеристика	Эталон	ДПТ	Реальная установка
Время первого согласования, T_u	4,7	4,5	4,2
Перерегулирование, %	4,3	4,6	18

Таблица 1. Сравнение параметров реакций моделей и реальной установки на скачок задания скорости

Контур положения настраивается на симметричный оптимум (СО) с помощью пропорционально-интегрального регулятора для обеспечения второго порядка астатизма по управляющему воздействию. Графики переходных процессов представлены на рис. 3.

Реакции систем – эталонной и настроенной с ДПТ – на задание углового положения имеют основные характеристики, представленные в табл. 2. На рис. 4 представлены реакции настроенной реальной системы на скачок задающего воздействия по скорости и углу поворота соответственно.

Анализ данных, сведенных в табл. 1, 2, показывает, что значения параметров достаточно близки, что позволяет сделать вывод о целесообразности выбора такого способа синтеза САУ. В результате реальный объект удастся настроить на постоянную времени скоростного контура, равную 5 мс, т.е. время переходного процесса в такой системе – порядка 30 мс, а в контуре регулирования положения – 60 мс.

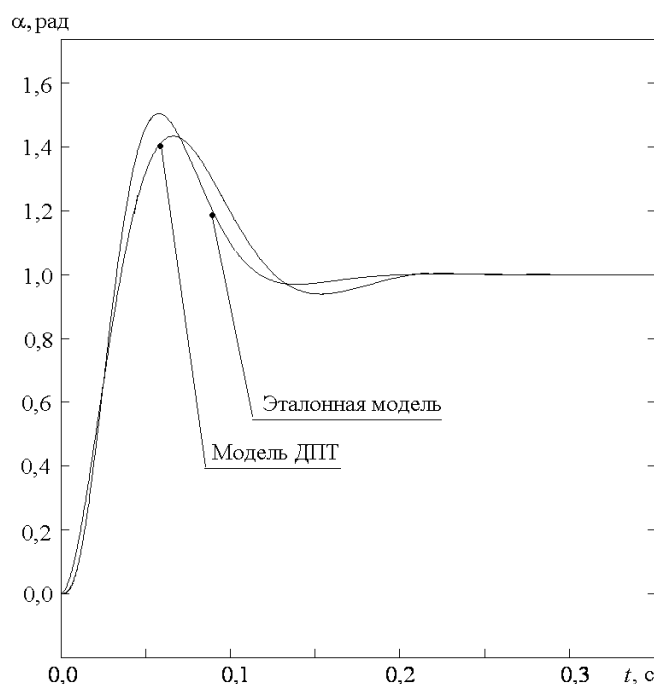


Рис. 3. Реакции систем с ДПТ и ВД, настроенных на СО, и эталонной модели

Характеристика	Эталон	ДПТ	Реальная установка
Время первого согласования, T_u	3,1	2,9	3
Перерегулирование, %	43	50	34,5

Таблица 2. Сравнение параметров реакций моделей и реальной установки на скачок задания угла

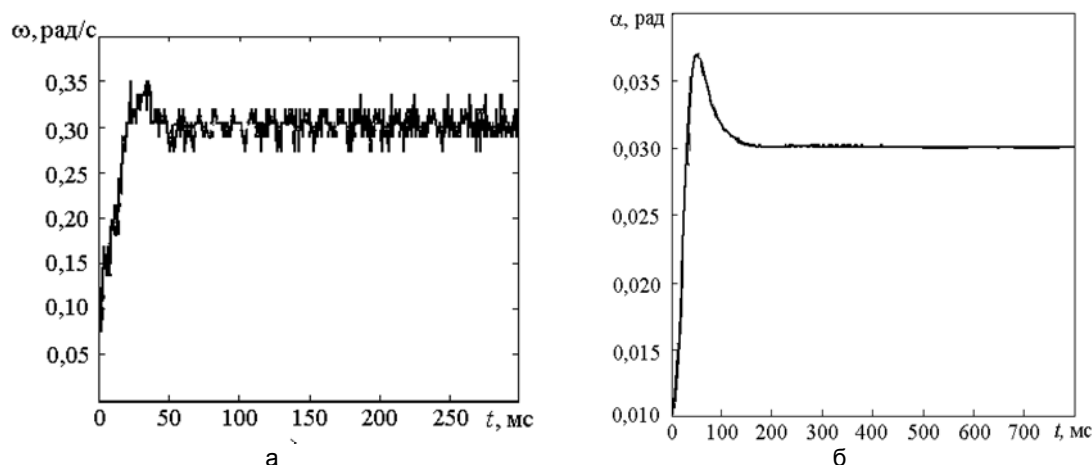


Рис. 4. Реакция реального объекта на скачок задания: скорости (а); угла поворота (б)

Заключение

Основным преимуществом использования параметрической идентификации в среде MATLAB/System Identification Toolbox является то, что есть возможность задавать любую структурную схему объекта управления – от простейшей до самой точной, учитывающей все возможные постоянные времени и внешние воздействия. Программный комплекс подбирает значения параметров модели объекта так, чтобы максимально приблизить смоделированную реакцию системы к реальной. Наглядно анализируя точность совпадения, можно решить, стоит ли дальше усложнять структуру модели или в данных условиях можно принять текущую.

Получив модель объекта с найденными параметрами и величинами возмущающих воздействий, можно построить систему управления в желаемом виде и проверить ее работу в MATLAB/Simulink. Завершающим этапом настройки системы является проверка ее работоспособности на реальном объекте. Если статические и динамические характеристики настроенной системы не удовлетворяют требованиям, процедура идентификации повторяется.

Предложенный метод настройки системы автоматического управления электропривода позволяет получить в короткие сроки достаточно высокие показатели качества переходных процессов, что дает возможность использовать его на начальном этапе настройки системы управления цифрового электропривода.

Литература

1. Семенов А.Д., Артамонов Д.В., Брюхачев А.В. Идентификация объектов управления: Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с.
2. Аракелян А.К., Афанасьев А.А. Вентильные электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 508 с.
3. Балковой А.П., Цаценкин В.К. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 328 с.
4. System Identification Toolbox User's Guide. – The MathWorks, Inc., 2008. – 528 p.

Тушев Сергей Александрович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, sergy5@mail.ru

УДК 004.89, 004.942, 338.24

**ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АГЕНТНАЯ ПЛАТФОРМА
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛИМОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОДДЕРЖКИ
УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕГИОНА****А.В. Маслобоев, А.В. Горохов**

Предложен когнитивный подход к решению задач информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью регионального развития, основанный на комбинировании методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования сложных динамических систем и процессов информатизации. Подход обеспечивает создание технологий построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сфере прогнозирования и стратегического планирования безопасного развития региональных социально-экономических систем. Разработаны архитектура и базовые компоненты распределенной проблемно-ориентированной агентной платформы для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью региона.

Ключевые слова: когнитивные информационные технологии, моделирование, системная динамика, мультиагентные технологии, полимодельный комплекс, управление, глобальная безопасность, регион.

Введение

На сегодняшний день когнитивный подход и реализующие его когнитивные технологии широко применяются для решения трудноформализуемых задач в различных предметных областях. Они обеспечивают возможность рационализации и формализации сложных объектов и процессов информатизации для получения новых знаний об исследуемых процессах и объектах в условиях неопределенности и неполноты информации, а также для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решения, экспертизы и коммуникации в сфере прогнозирования и стратегического планирования развития сложных динамических систем. Это обуславливает целесообразность применения когнитивных технологий для решения широкого спектра задач управления безопасностью развития региональных социально-экономических систем (СЭС) [1].

Предполагаемые новые решения рассматриваемого класса задач также основаны на когнитивном подходе, новизна которого для данного исследования заключается в интеграции современных научных концепций: методологии концептуального моделирования, технологии системно-динамического моделирования, технологий мультиагентных систем и методов математической теории безопасности, что позволит получить качественно новые результаты в области создания систем информационно-аналитической поддержки функционирования и развития сложных динамических систем.

Основное направление исследований – разработка и развитие когнитивных информационных технологий и компьютерного моделирования для исследования и управления безопасностью функционирования сложных СЭС и процессов. Конкретная фундаментальная задача, на решение которой направлены исследования – разработка когнитивных моделей и технологий реализации целостной распределенной информационно-аналитической среды поддержки управления безопасностью развития Арктических регионов РФ (на примере Мурманской области) с целью обеспечения эффективности согласованной деятельности организационных структур в области решения задач управления безопасностью функционирования региональных СЭС для повышения оперативности, системности и качества планирования и проведения предупредительных мероприятий в области обеспечения региональной безопасности.

**Синтез концептуальных, системно-динамических и мультиагентных моделей
для задач управления регионом**

Развитие подхода к интеграции методологии концептуального моделирования, мультиагентных технологий и системно-динамического моделирования обеспечивает базис для нового решения в области использования ситуационных мультиагентных систем поддержки принятия решений – создания когнитивных агентов с имитационным аппаратом [2, 3], а также возможность создания полимодельных комплексов пространственно-распределенных сложных систем [4]. Полученные комплексы являются основой для формирования и исследования сценариев развития региона с имитацией сложных динамических процессов и взаимодействий между субъектами проблемно-ориентированной деятельности, представляемых проактивными агентами. Возможность когнитивных агентов прогнозировать на основе системно-динамического моделирования последствия своего поведения в виртуальной среде (единой информационной среде поддержки безопасности региона) с учетом возможных изменений среды и действий других агентов позволит субъектам – «владельцам» агентов оперативно сформировать и сопоставить вари-

анты своего поведения в реальном мире. Использование когнитивных агентов с имитационным аппаратом обеспечивает возможность целенаправленного управления безопасностью региональной СЭС как в стабильных условиях, так и в критических ситуациях.

Имитационный аппарат включает комплекс системно-динамических шаблонов для имитационного моделирования задач управления безопасностью развития региона. Моделирование глобальной безопасности развития региона реализуется с использованием технологии гибкого формирования моделей функционирования региональных подсистем и их компонентов на основе комплекса имитационных шаблонов типовых задач управления безопасностью, адаптируемых к социально-экономическим условиям. Синтез проблемно-ориентированной имитационной модели из шаблонов осуществляется на основе концептуального описания решаемой задачи. Типовые шаблоны разработаны для таких концептуальных классов, как объекты обеспечения безопасности, субъекты безопасности, действующие факторы (внутренние и внешние угрозы безопасности), ситуации, сценарии снижения рисков возникновения потенциальных угроз безопасности. В ходе исследований созданы библиотеки типовых имитационных шаблонов и инструментальные средства их дистанционного использования. Варианты реализации имитационного аппарата когнитивных агентов субъектов проблемно-ориентированной деятельности на основе совместного использования системно-динамических и агентных моделей предложены в работе [3].

Метод системной динамики. Любое моделирование СЭС с достаточной для получения практически значимых результатов полнотой и многосторонностью заставляет рассматривать их как сложные динамические системы. Одной из важнейших особенностей таких систем является наличие большого числа петель обратной связи и сильное взаимное влияние между параметрами системы. Иначе говоря, в системе практически отсутствуют независимые управляющие параметры. Это приводит к появлению в развитии систем периодов неожиданного, случайного поведения. На принципиальную невозможность полноты информации о сложной системе в окрестности бифуркации указывал в начале 1980-х г.г. академик Н.Н. Моисеев [5]. Задача такого моделирования выходит за рамки формальных постановок и существенно ограничивает возможность применения математических методов описания поведения систем на базе статистического материала. Поиск путей решения названных проблем привел к появлению специализированного метода имитационного моделирования – системной динамики [4]. Метод системной динамики позволяет исследовать поведение сложных систем, опираясь на возможности компьютерного моделирования.

В Институте информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН разработан метод концептуального синтеза динамических моделей сложных систем [6]. Метод основан на использовании концептуальной модели (КМ) как средства формализации наиболее трудоемкого этапа динамического моделирования – это синтез модели системной динамики. Метод позволил снизить трудоемкость и сократить сроки динамического моделирования СЭС регионального уровня. Основные аспекты новизны метода следующие:

- экспертные знания формализуются в виде КМ, построенной с помощью функционально-целевой технологии;
- КМ реализуется в виде базы знаний древовидной структуры. Кроме того, база знаний содержит объекты системы динамического моделирования и формальные процедуры;
- разработаны формальные процедуры, обеспечивающие синтез модели системной динамики из объектов системы динамического моделирования;
- модель системной динамики однозначно синтезируется из соответствующей КМ.

Функционально-целевой подход к разработке КМ сложной системы. Функционально-целевой подход (ФЦП) предложен в начале 1980-х г.г. [7] для решения проблем управления сложными распределенными объектами. Исходная посылка ФЦП – решение проблем через формирование системы целей. Цель достигнута, если решена соответствующая задача. Решение задач обеспечивается соответствующими функциями синтезируемой системы. ФЦП обеспечивает структурный синтез систем, функции которых (т.е. поведение системы) обеспечивают решение соответствующих задач. Методами ФЦП синтезируется КМ предметной области в виде многоуровневой древовидной системы целей. В ФЦП эта иерархия целей используется не только как обычное средство наглядного структурного описания, но и как инструмент структурно-алгоритмического проектирования системы, обеспечивающей учет особенностей структуры целевой предметной области. Для обеспечения таких возможностей модель функций системы имеет структуру, аналогичную структуре модели целевой предметной области, а модель функций определяет структуру синтезируемой системы. Модели, разработанные с помощью ФЦП, основаны на двух-операционных алгебрах целей и функций. Это означает, что в иерархической системе целей любая цель достигается последовательно-параллельными композициями подцелей нижележащего уровня. ФЦП дает соответствие между целями различных уровней КМ по следующему принципу: каждой цели соответствует функция, обеспечивающая достижение этой цели. Эти функции, в свою очередь, являются целями, достигаемыми на следующем, более низком уровне иерархии модели.

Реализация КМ в виде базы знаний и формальные процедуры, обеспечивающие синтез модели системной динамики. КМ СЭС строится в результате декомпозиции, а цель исследования определяет критерий этой декомпозиции. В общем виде задача формальной декомпозиции сложной системы не решена. Это объясняется тем, что декомпозиция является этапом анализа, а анализ как метод познания мира, по известным причинам, не может быть формализован и всегда выполняется исследователями на основе их ментальных моделей, которые также не формализуемы полностью.

Реализация КМ в виде базы знаний дает возможность использовать экспертные знания автономно (без участия экспертов) для синтеза моделей системной динамики. Эта задача решается путем преобразования декларативных знаний о предметной области в процедурные знания системной динамики с помощью набора формальных правил [8]. К декларативным знаниям базы знаний относятся: набор примитивов КМ, набор действий, набор элементарных объектов системы динамического моделирования, справочники и кодификаторы, содержащие текстовые знания экспертов об исследуемой предметной области. К процедурным знаниям базы знаний относятся процедуры вывода. Процедуры вывода представляют собой отображения структур КМ, в данном случае это декларативные знания базы знаний, в структуры динамических моделей. Данные процедуры алгоритмизированы и реализованы в виде инструментальной системы поддержки создания КМ сложных систем и синтеза соответствующих им динамических моделей [9].

Взаимодействие системно-динамической и мультиагентной моделей. Среди существующих подходов к построению мультиагентных систем можно выделить два подхода и, соответственно, два класса систем [10]:

1. распределенные мультиагентные системы с «высокоинтеллектуальными» агентами;
2. мультиагентные системы, основанные на «групповом разуме» (swarm intelligence).

Первый класс рассчитан на распределенные системы, в которых существует сравнительно небольшое количество агентов (единицы) и каждый из агентов является сложным программным объектом со сложными алгоритмами. Второй класс систем рассчитан на большое количество агентов (десятки, сотни, тысячи). Каждый агент в системе не является сложным программным объектом и, как правило, реализует простые алгоритмы поведения, однако в результате взаимодействия агентов возможно решение сложных задач, которые каждый агент по отдельности решить не в состоянии.

В данном исследовании рассматривается второй класс систем. В результате реализации ФЦП получается два дерева: дерево объектов и дерево целей. Дерево целей используется для синтеза мультиагентной модели. Декомпозиция выполняется до тех пор, пока не достигнут уровень «примитивных» целей, реализуемых агентами с простыми алгоритмами. Достижение примитивных целей обеспечивает достижение глобальной цели исследуемой системы.

Полученные модели взаимодействуют следующим образом. Системно-динамическая модель дает прогноз тенденций развития системы, в зависимости от которого «включаются» те или иные алгоритмы агентов (рис. 1).

Предположим, исследования системно-динамической модели сложного объекта управления показывают, что объект входит в окрестности бифуркации («красный» свет на рис. 1). При этом агенты перестают «замечать» друг друга (блокируются алгоритмы переговоров между агентами) и «видят» только свои цели. В результате все действия агентов обусловлены только соответствующими целями, что обеспечивает безусловное достижение глобальной цели системы (в соответствии с ФЦП). Понятно, что в данном случае управление будет менее эффективным с точки зрения рационального использования ресурсов, но в окрестностях бифуркации это вполне целесообразно, так как резко повышается вероятность «потери» глобальной цели.

В случае стабильного периода развития объекта управления (тенденции развития дают исследования системно-динамической модели) включается «зеленый» свет (рис. 1). При этом агенты «помнят» о своих целях, но возможны компромиссы в пользу горизонтальных связей (актуализируются алгоритмы переговоров). Управление в этом случае становится более эффективным с точки зрения использования ресурсов.

Таким образом, для целей моделирования и управления сложной системой (региональной СЭС) имеем ансамбль моделей, представляющий собой полимодельный комплекс, состоящий из моделей трех типов: концептуальных, системно-динамических и мультиагентных. КМ используется для интеграции системно-динамических и мультиагентных моделей и обеспечения их адекватности целям управления.

В ходе исследований предложена формализованная система знаний о существующих и возможных подходах к решению задач управления глобальной безопасностью регионального развития и связанных с этими задачами информационных процессах, реализованная в виде мультиагентной КМ интегрированной информационно-аналитической среды поддержки управления безопасностью региона [11], представляющей собой базу знаний древовидной структуры, образующую интеллектуальную подсистему гибридной InteRRap-архитектуры когнитивных программных агентов субъектов безопасности (рис. 2). Модель обеспечивает основу для автоматизации и имитационного моделирования типовых про-

цессов управления безопасностью с целью синтеза виртуальных организационных структур безопасности под конкретную задачу. КМ определяет степень интеллектуальности когнитивных агентов: чем точнее составлена модель, чем более корректно обозначены связи, тем полнее агент представляет предметную область, для которой он существует.

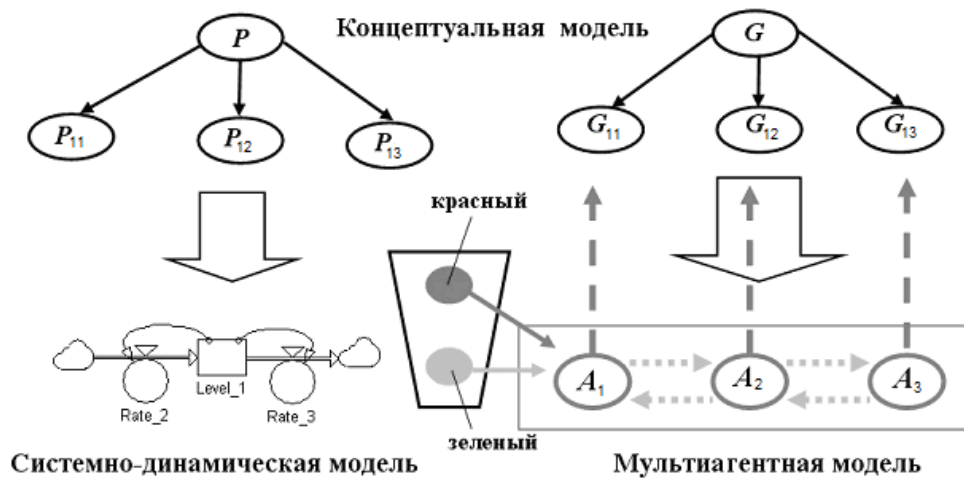


Рис. 1. Синтез и взаимодействие концептуальной, системно-динамической и мультиагентной моделей: G – множество целей, представленных в модели; P – множество параметров, описывающих множество задач, решение которых необходимо для достижения поставленной цели; A – множество агентов системы

Из построенной КМ следует система показателей безопасности – набор определенных параметров для каждой области безопасности, которые используются в качестве входных и выходных параметров соответствующих имитационных моделей, спецификация которых формируется на основе концептуального описания для решения конкретной задачи. Имитационные модели реализуются с помощью агентной технологии и системной динамики. Системно-динамические модели используются для приближенного прогноза и выявления тенденций в динамике основных социально-экономических показателей безопасности развития региона, а агентные модели – для более точных количественных оценок этих показателей.

Архитектура проблемно-ориентированной агентной платформы для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью

Основная задача проблемно-ориентированной агентной платформы – обеспечение технологической основы для создания и использования полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью функционирования сложных динамических систем и поддержание их корректной работы в процессе решения индивидуальных и групповых задач программными когнитивными агентами субъектов безопасности для достижения заданной цели.

В ходе исследований предложены общие принципы формирования и архитектура распределенной проблемно-ориентированной агентной платформы для создания и использования полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью региона на основе мультиагентного подхода и технологий одноранговых распределенных информационных систем [12]. Архитектура состоит из когнитивных программных агентов основных типов субъектов безопасности, реализованных в виде отдельных приложений, взаимодействующих между собой. Каждый из агентов технически реализуется в виде локальных программ (.exe) или веб-сервисов. Программный агент обладает модульной структурой, и в его состав входят следующие модули: интерфейс пользователя, блок генерации модели, блок согласования модели, блок обработки результатов, блок взаимодействия с моделирующей средой, блок оперирования данными, база данных агента, моделирующая среда и др.

Компонентный состав архитектуры проблемно-ориентированной агентной платформы поддержки управления безопасностью также образует подсистемы, реализующие процедуры формирования коалиций агентов и механизмы управления совместной деятельностью, технологии обеспечения информационной безопасности агентов и данных, которыми они оперируют, алгоритмы миграции агентов, механизмы интеграции разнородных информационных ресурсов. Для согласования разных технологий хранения и представления данных в единой информационной среде поддержки управления безопасностью предлагается использовать программные адаптеры ресурсов, реализующие специфичные для каждого конкретного ресурса механизмы доступа и извлечения данных.

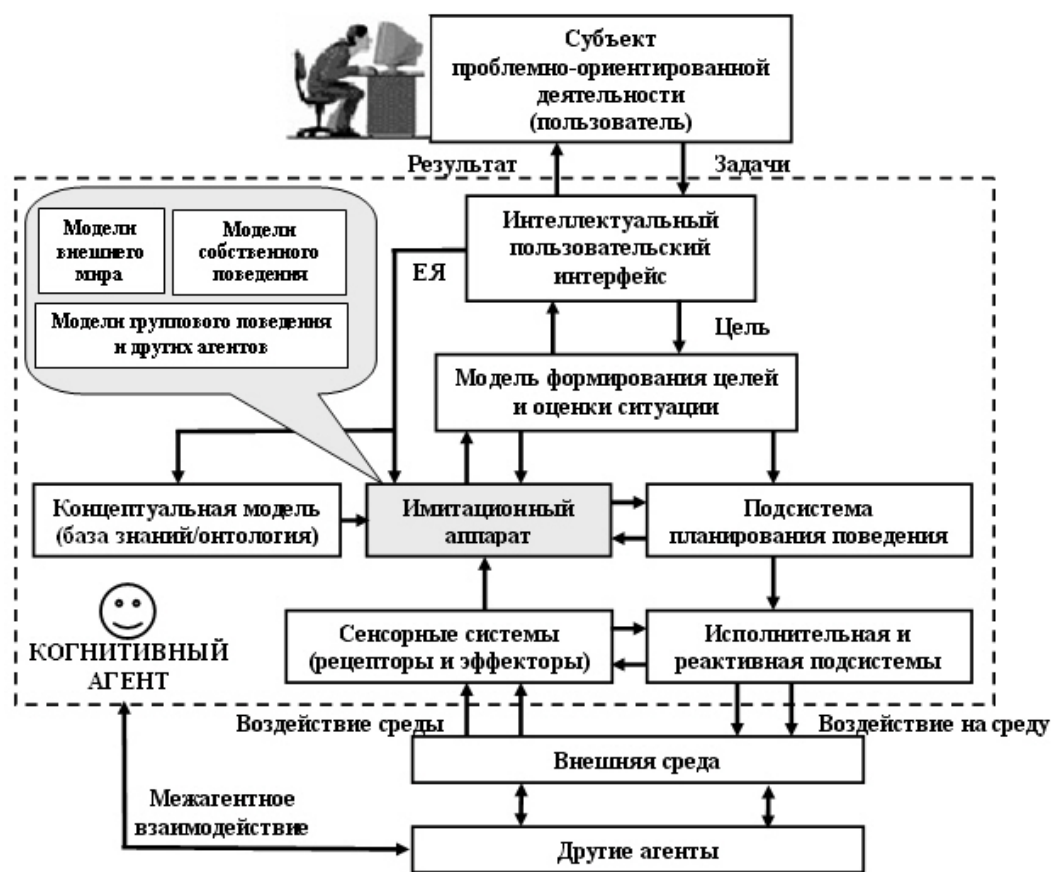


Рис. 2. Архитектура когнитивного агента с имитационным аппаратом

Вместе с тем разработаны специализированные компоненты распределенной агентной платформы для создания полимодельных комплексов поддержки управления безопасностью: 1) средства формирования отдельных подмоделей с помощью разных методов моделирования и их интеграции в общий полимодельный комплекс; 2) средства, обеспечивающие согласование и выбор общесистемного шага моделирования для различных подмоделей; 3) процедуры формирования и исполнения подмоделей внутри имитационного аппарата когнитивных агентов и автоматизированная обработка результатов моделирования; 4) средства интеграции (консолидации) результатов в разрезе конкретной решаемой задачи (проблемы) управления безопасностью развития системы и др. Предложенные компоненты обеспечивают расширение возможностей существующих агентных платформ, применяемых для поддержки функционирования и взаимодействия программных когнитивных агентов, представляющих интересы реальных субъектов проблемно-ориентированной деятельности в виртуальных распределенных информационных средах.

Заключение

В ходе проведенных исследований были получены следующие основные результаты.

1. Предложен когнитивный подход к решению задач информационно-аналитической поддержки управления глобальной безопасностью регионального развития. Подход основан на интеграции методологий концептуального моделирования, системно-динамического моделирования и мультиагентных технологий и обеспечивает возможность разработки нового класса самоорганизующихся интеллектуальных систем – когнитивных агентов с имитационным аппаратом, а также создания полимодельных комплексов когнитивных и имитационных моделей для исследования сложных динамических систем и процессов.
2. Разработаны архитектура и базовые компоненты распределенной проблемно-ориентированной агентной платформы поддержки создания и использования полимодельных комплексов для задач управления безопасностью развития региональных СЭС.
3. Создана программная система поддержки создания КМ сложных систем и синтеза соответствующих им динамических моделей, представляющая собой интегрированную инструментальную среду для реализации интерактивного процесса создания КМ СЭС в виде баз знаний и синтеза на их основе моделей системной динамики [9].

Литература

1. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Информационно-аналитическая поддержка управления безопасностью развития Арктических регионов России: задачи, методы, технологии // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 3 (73). – С. 143–145.
2. Калущая А.П., Тарасов В.Б. Моделирование взаимодействия робота с внешней средой на основе пространственных логик и распространения ограничений // Программные продукты и системы. – 2010. – № 2. – С. 174–178.
3. Маслобоев А.В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. – 2009. – Т. 12. – № 1. – С. 113–125.
4. Путилов В.А., Горохов А.В. Системная динамика регионального развития. – Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002. – 306 с.
5. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
6. Горохов А.В., Путилов В.А. Синтез системно-динамических и мультиагентных моделей для задач управления регионом // Теория и практика системной динамики: Труды Всерос. науч. конф. (Апатиты, 13–15 сентября 2004 г.). – Апатиты: КНЦ РАН, 2004. – С. 21–27.
7. Игнатьев М.Б., Путилов В.А., Смольков Г.Я. Модели и системы управления комплексными экспериментальными исследованиями. – М.: Наука, 1986. – 232 с.
8. Емельянов С.В., Попков Ю.С., Олейник А.Г., Путилов В.А. Информационные технологии регионального управления. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.
9. Горохов А.В., Малыгина С.Н., Маслобоев А.В. Программная система поддержки создания концептуальных моделей сложных систем // Рекламно-техническое описание алгоритма и программной модели реализации (программного средства). – М.: ИИММ КНЦ РАН, 2011. – 14 с.
10. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 352 с.
11. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Концептуальная модель интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. – 2011. – Т. 14. – № 4. – С. 842–853.
12. Маслобоев А.В., Шишаев М.Г. Архитектура и технологии формирования интегрированной информационной среды поддержки управления безопасностью развития региона // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 6 (76). – С. 98–104.

- Маслобоев Андрей Владимирович* – Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, кандидат технических наук, доцент, докторант, masloboev@iimm.kolasc.net.ru
- Горохов Андрей Витальевич* – Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией, gorokhov@iimm.kolasc.net.ru

УДК 004.75

СИСТЕМЫ ДУБЛИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАПРОСОВ

И.Ю. Голубев

Исследованы подходы к организации структуры отказоустойчивой вычислительной сети на базе дублированных вычислительных комплексов, предусматривающих повышение надежности и производительности на основе динамического перераспределения потока запросов с учетом состояний работоспособности и загрузки компьютерных узлов. Представленные результаты демонстрируют существенную роль выбора кратности резервирования и алгоритмов управления запросами в эффективности системы. Выявлены зависимости эффективности системы от способа распределения вычислительных узлов по разным уровням сети и потока запросов между ними. Показана эффективность обеспечения надежности и производительности вычислительных систем, komponуемых из дублированных вычислительных комплексов на основе динамического распределения запросов.

Ключевые слова: дублированные вычислительные комплексы, распределение нагрузки, вычислительные сети.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили вычислительные сети – распределенные вычислительные системы, включающие в себя вычислительные узлы и коммуникационную среду, обеспечивающую их взаимодействие [1–3]. Для систем ответственного целевого назначения актуальной является задача обеспечения их высокой производительности и надежности. Возрастание требований к надежности проектируемой системы обусловлено не только ответственностью целевого приложения, но

и коммерческими факторами и причинами, например, недопустимостью перерывов в работе системы, которые могут приводить к серьезным финансовым потерям.

Постановка задачи

Цель представленной работы – исследование подходов к организации структуры отказоустойчивой вычислительной сети на базе дублированных вычислительных комплексов (ДВК) [1], предусматривающих повышение надежности и производительности на основе динамического перераспределения потока запросов с учетом состояний работоспособности и загруженности компьютерных узлов [4–9].

Задачей исследования является выявление зависимостей эффективности вычислительной сети от кратности резервирования вычислительных элементов и от параметров распределения потока запросов между ними [4–9] с учетом использования в качестве компьютерных узлов ДВК.

На рис. 1 представлена структура рассматриваемой сети. ДВК объединены в кластеры: группу штатных кластеров и один – резервный. Мощности резервного кластера могут использоваться путем перераспределения диспетчерами запросов (ДЗ) потока запросов с целью повышения производительности и надежности вычислительной сети.

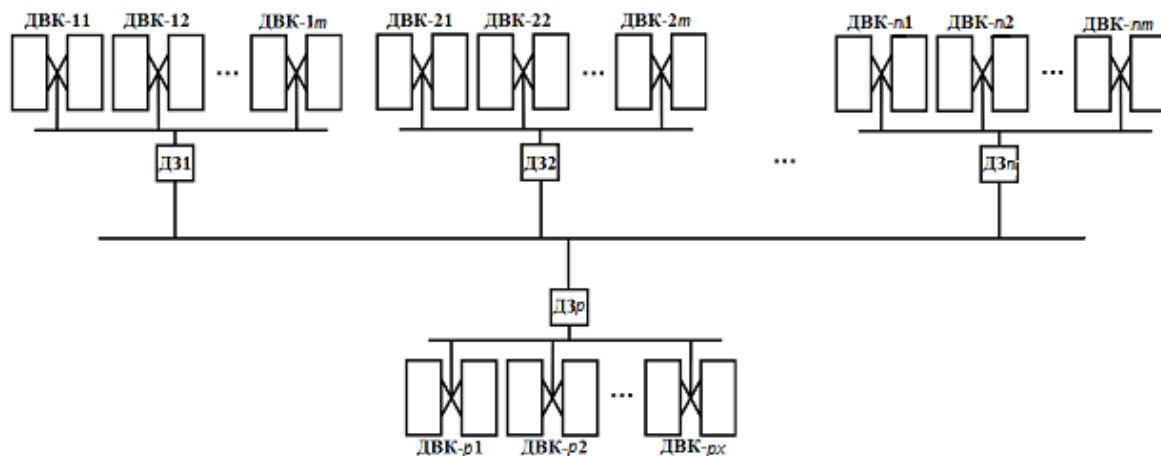


Рис. 1. Структура сети

Предполагается возможность отказов ДВК, а также каналов связи (КС) как внутри ДВК, так и между кластерами сети. ДЗ считаются абсолютно надежными.

Потоки запросов с известной интенсивностью поступают на ДЗ каждого из n штатных кластеров, которые обмениваются между собой информацией об интенсивности входящих в них потоков запросов, а также о состоянии каждого из m включенных в них ДВК. Анализируя значения интенсивностей потоков и состояние ДВК, каждый ДЗ на основе заданного алгоритма принимает решение о необходимости перераспределения части запросов на резервный кластер. При обработке запросов на мощностях резервного кластера время их обслуживания включает в себя время транспортировки данных по КС.

Оценка надежности и задержек в системе

Кластер считается работоспособным, если исправен его КС и хотя бы один из ДВК. Вероятность работоспособного состояния каждого кластера $P_K(t)$ в течение времени t определяется следующим образом: $P_K(t) = p_{КС}(t)(1 - (1 - p_{ВМ}(t))^{2m})$, где $p_{КС}(t)$ и $p_{ВМ}(t)$ – вероятность работоспособного состояния канала связи кластера (КСК) и вычислительной машины (ВМ), составляющей ДВК; m – общее количество ДВК в кластере.

Система работоспособна, если либо исправны все кластеры верхнего уровня, либо исправны КС всех кластеров системы и хотя бы один из ДВК резервного кластера. Вероятность работоспособного состояния системы $P_c(t)$ в течение времени t оценивается так:

$$P_c(t) = p_{КС}(t)p_{КСК}(t)^n \left[\begin{aligned} & (1 - (1 - p_{ВМ}(t))^{2d\gamma}) + \\ & + (1 - (1 - p_{ВМ}(t))^{2\frac{d(1-\gamma)}{n-1}})^{n-1} - \\ & - (1 - (1 - p_{ВМ}(t))^{2d\gamma})(1 - (1 - p_{ВМ}(t))^{2\frac{d(1-\gamma)}{n-1}})^{n-1} \end{aligned} \right], \quad (1)$$

где $p_{КС}$ – вероятность работоспособности КС между уровнями структуры сети; n – общее количество кластеров в системе; d – общее количество ДВК в системе; γ – доля ДВК в резервном кластере от общего числа ДВК системы.

В предположении экспоненциального распределения времени между отказами вероятность работоспособности компонент сети определяется как $p_{\text{КС}}(t) = \exp(-\lambda_{\text{КС}} t)$, $p_{\text{КСК}}(t) = \exp(-\lambda_{\text{КСК}} t)$, $p_{\text{ВМ}}(t) = \exp(-\lambda_{\text{ВМ}} t)$, где $\lambda_{\text{КС}}$, $\lambda_{\text{КСК}}$, $\lambda_{\text{ВМ}}$ – суммарные интенсивности отказов КС между уровнями структуры сети, КСК и ВМ соответственно. Предполагается, что поступающие в систему запросы образуют простейшие потоки, а длительности обслуживания запросов в ВМ и КС распределены по экспоненциальному закону. Сделанные предположения позволяют построить модель экспоненциальной сети массового обслуживания (СеМО), поддающейся исследованию аналитическими методами [10].

Среднее время пребывания запросов в каждом из кластеров верхнего и нижнего уровней (T и T_p соответственно), с учетом представления кластеров в виде СеМО, в которой ДВК – это система массового обслуживания (СМО) типа М/М/1, определяется формулами

$$T_p = \frac{2}{\mu_{\text{КСК}}} + \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}, \quad T = \frac{2}{\mu_{\text{КС}}} + \frac{\rho_p}{\mu(1-\rho_p)},$$

где $\mu_{\text{КСК}}$, $\mu_{\text{КС}}$, μ – величины, обратные времени пребывания запроса соответственно в КСК, в КС между уровнями структуры сети и в каждой из СМО; ρ , ρ_p – коэффициенты использования каждой из СМО кластеров соответственно верхнего и нижнего уровней сети.

Предполагается, что система работает в устойчивом режиме, а нагрузка внутри кластеров верхнего и нижнего уровня распределяется равномерно, таким образом, что в любой момент времени

$$\rho = \frac{\lambda(1-\tau)}{r(1-\gamma)\mu} < 1, \quad \rho_p = \frac{\lambda\tau}{r\gamma\mu} < 1,$$

где λ – интенсивность поступления потока запросов в кластер; τ – доля запросов, перенаправляемых на обработку в резервном кластере; r – количество работоспособных ДВК в системе.

Среднее время пребывания запросов в системе вычисляется

$$T_{\text{ср}} = \sum_{r=1}^d [(1-\gamma)T + \gamma T_p] C_d^r p_{\text{ВМ}}^r(t) (1 - p_{\text{ВМ}}(t))^{d-r}. \quad (2)$$

В качестве оценки эффективности системы используется комплексный показатель, равный отношению полученных в формулах (1), (2) вероятности работоспособного состояния системы и среднего времени пребывания запросов в системе

$$I_{\text{эф}}(t) = P_c(t) / T_{\text{ср}}.$$

Определение кратности резервирования

Предполагается, что изначально нагрузка между штатными кластерами распределяется равномерно. Последующие рассуждения ведутся с учетом рационального в таком случае равномерного распределения ДВК между кластерами сети.

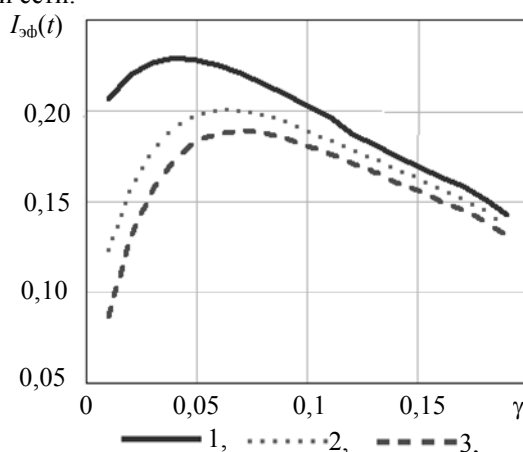


Рис. 2. Зависимость эффективности системы от способа распределения ДВК: кривая 1 соответствует 8 штатным кластерам сети; кривая 2 – 10; кривая 3 – 12

Для расчетов принимается $\lambda_{\text{КС}} = \lambda_{\text{КСК}} = 5 \times 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$; $\lambda_{\text{ВМ}} = 5 \times 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$; $d = 100$; $t = 5000 \text{ ч}$; $\mu_{\text{КС}} = 0,1 \text{ с}^{-1}$; $\mu_{\text{КСК}} = 2 \text{ с}^{-1}$; $\mu = 2 \text{ с}^{-1}$; интенсивность поступления запросов в систему $\lambda = 10 \text{ с}^{-1}$, доля запросов τ предполагается равной доле γ выделенных в резервный кластер ДВК.

На рис. 2 представлена зависимость эффективности системы по обработке запросов от количества кластеров верхнего уровня и от доли ДВК γ , предназначенных для работы на нижнем уровне сети. Кривая 1 соответствует 8 штатным кластерам сети, кривая 2 – 10, кривая 3 – 12. На рис. 2 видно, что оптимальным для структуры из 8 штатных кластеров является выделение в резервный кластер 4% от общего числа ДВК. Дальнейшие расчеты представлены для структуры из 8 штатных кластеров с найденной кратностью резервирования.

Определение параметров распределения запросов

Рассмотрен подход к управлению потоками запросов, основанный на перераспределении части потока запросов на резервный кластер в случае достижения порогового уровня загрузки. Для определения порогового значения загрузки в соответствии с формулой (2) и выбранной структурой вычислительной сети построена кривая зависимости эффективности системы по обработке запросов от доли потока запросов τ , направляемых на обработку в резервный кластер, представленная на рис. 3.

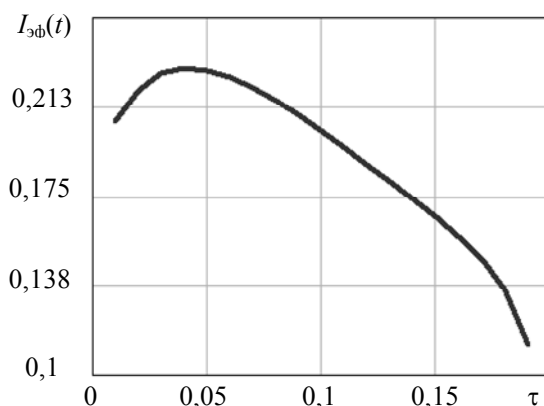


Рис. 3. Зависимость эффективности системы от доли распределения запросов

На рис. 3 видно, что оптимальное значение для доли потока запросов τ , направляемых на обработку в резервный кластер, равно 0,04.

Для проверки полученных аналитическим путем результатов в системе моделирования общецелевого назначения GPSS World была разработана имитационная модель вычислительной сети выбранной структуры. Реализованный в модели алгоритм распределения нагрузки учитывает суммарную длину очередей к каждому из кластеров верхнего уровня: в случае достижения порогового значения длины очереди запросы перенаправляются в резервный кластер.

№	Доля запросов τ , перенаправляемых для обработки в резервном кластере	Среднее время пребывания в системе запроса, обслуживаемого в штатном кластере, с	Среднее время пребывания в системе запроса, обслуживаемого в резервном кластере, с	Эффективность системы по обработке запросов
1	0,01	19,2549	26,72	0,0517
2	0,02	12,7366	22,435	0,0773
3	0,03	9,6016	35,661	0,0964
4	0,04	5,1485	51,791	0,1644
5	0,045	1,9616	55,271	0,229
6	0,05	1,7689	57,399	0,2181
7	0,06	1,6855	72,525	0,1669
8	0,07	1,6654	88,921	0,1331
9	0,08	1,6468	113,572	0,0979
10	0,09	1,6326	154,646	0,0639

Таблица. Результаты имитационного эксперимента

Результаты серии имитационных экспериментов представлены в таблице. Расхождение значения оптимальной доли потока запросов τ , направляемых на обработку в резервный кластер, с полученными ранее аналитическим путем данными не превосходит 10%, что является допустимой для модели погрешностью.

Заключение

Проведенные исследования демонстрируют существенную роль выбора кратности резервирования в эффективности системы дублированных вычислительных комплексов. Показана эффективность обеспечения надежности и производительности вычислительных систем, komponуемых из дублированных вычислительных комплексов на основе динамического распределения запросов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Санкт-Петербурга.

Литература

1. Голубев И.Ю., Богатырев В.А., Беззубов В.Ф. Сравнительный анализ структур отказоустойчивых дублированных вычислительных комплексов // Информационно-измерительные и управляющие системы. – М.: Радиотехника. – 2011. – Т. 9. – № 2. – С. 8–12.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: БВХ–Петербург, 2008. – 704 с.
3. Takefusa A., Matsuoka S., Aida K. [et al.] Overview of a performance evaluation system for global computing scheduling algorithms // Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC'99). – 1999. – P. 97–104.
4. Богатырев В.А. Протоколы динамического распределения запросов и отображения функциональных ресурсов в отказоустойчивых вычислительных системах // Электронное моделирование. – 1999. – № 6. – С. 87–96.
5. Богатырев В.А. Комбинаторный метод оценки отказоустойчивости функционально-распределенных вычислительных систем // Электронное моделирование. – 2000. – № 4. – С. 84–92.
6. Богатырев В.А. Оценка надежности функционально избыточных многомашинных вычислительных систем с реконфигурацией на основе перераспределения функций // Электронное моделирование. – 1994. – № 2. – С. 88–90.
7. Богатырев В.А. Распределение заданий в многомашинных вычислительных системах // Изв. вузов. Приборостроение. – 1986. – № 5. – С. 43–47.
8. Богатырев В.А. Безотказность адаптивно-перестраиваемой системы с реконфигурацией на основе перераспределения функций // Изв. вузов. Приборостроение. – 1993. – № 4. – С. 84–87.
9. Богатырев В.А. Динамическое отображение конфигурации в локальных сетях магистральной топологии // Изв. вузов. Приборостроение. – 1993. – № 9–10. – С. 30–35.
10. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем: Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

Голубев Иван Юрьевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, www.golubev@mail.ru

УДК 621.3.085

ПРИМЕНЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЕ БРЕЙНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПСЕВДОРЕГУЛЯРНЫХ КОДОВЫХ ШКАЛ

А.А. Ожиганов, И.Д. Захаров

Предложен алгоритм получения последовательностей де Брейна заданной степени на основе одноименных графов. Приведены примеры построения кодирующих масок псевдoreгулярных кодовых шкал с использованием полученных последовательностей.

Ключевые слова: последовательность де Брейна, граф де Брейна, кодовая шкала, кодовая дорожка, рекурсивная кодовая шкала, псевдослучайная кодовая шкала, нелинейная кодовая шкала, псевдoreгулярная кодовая шкала.

Введение

Цифровые преобразователи угла (ЦПУ), построенные по методу параллельного считывания, являются важной частью многих современных вычислительных устройств. Основным элементом таких преобразователей является кодовая шкала (КШ). Классические КШ имеют кодирующую маску, выполненную в обыкновенном двоичном коде или в коде Грея, где каждому разряду шкалы соответствует своя кодовая дорожка (КД) [1].

В работах [2–12] рассмотрены рекурсивные кодовые шкалы (РКШ), разновидностями которых являются псевдослучайные (ПСКШ), композиционные (ККШ), нелинейные (НКШ) и псевдoreгулярные кодовые шкалы (ПРКШ). Отличительной особенностью всех РКШ является то, что все они строятся с использованием линейных или нелинейных рекуррентных двоичных последовательностей (РП) и имеют одну или две информационные КД. В качестве РП, используемых для построения кодирующих масок РКШ, применяются псевдослучайные двоичные последовательности максимального периода (М-последовательности) или их комбинации. Число М-последовательностей $N_M = \varphi(L)/n$, где $\varphi(L)$ –

функция Эйлера, $L = 2^n - 1$, а n – степень примитивного полинома, положенного в основу построения М-последовательности и одновременно разрядность РКШ.

В свою очередь, число М-последовательностей определяет множество разнообразных кодирующих масок РКШ.

Наиболее перспективными из РКШ, нашедшими практическое применение в выпускаемых в ОАО «Авангард» фотоэлектрических ЦПУ, являются ПРКШ. Однако число кодирующих масок ПРКШ для заданной степени n определяется величиной N_M .

Известны двоичные последовательности де Брейна [13], число которых для заданного n , $N_{DB} = 2^{2^{n-1}-n}$. В таблице приведено число М-последовательностей и последовательностей де Брейна для различных значений n .

n	N_M	N_{DB}
2	1	1
3	2	2
4	2	16
5	6	2048
...		
10	60	2^{503}

Таблица. Число М-последовательностей и последовательностей де Брейна для различных значений n

Анализ таблицы показывает, что последовательностей де Брейна несоизмеримо больше по сравнению с М-последовательностями. Например, для $n=5$ существует 2048 последовательностей де Брейна и всего 6 М-последовательностей. Следовательно, при использовании последовательностей де Брейна для построения кодирующих масок ПРКШ их можно получить 2048, тогда как использование М-последовательностей позволит реализовать всего 6 различных кодирующих масок. Большее число последовательностей де Брейна по сравнению с М-последовательностями для одного и того же n дает дополнительные возможности при проектировании высокоразрядных малогабаритных ЦПУ с учетом различных конструкторско-технологических ограничений.

Из литературных источников [14, 15] известны алгебраические алгоритмы нахождения последовательностей де Брейна определенной степени. Однако эти алгоритмы либо не дают их полного множества, либо малоэффективны и ресурсоемки.

В настоящей работе предлагается алгоритм, лишенный указанных выше недостатков и позволяющий последовательно генерировать все двоичные последовательности де Брейна заданной степени.

Алгоритм получения последовательностей де Брейна

Алгоритм состоит из двух этапов. На первом этапе формируется матрица смежности соответствующего графа де Брейна, а на втором этапе по полученной матрице смежности находятся собственно последовательности.

Одним из представлений последовательностей де Брейна являются одноименные графы. Это направленные графы, в вершинах которых находятся все возможные слова длины n , составленные из заданного алфавита (для двоичного алфавита – всего 2^n вершин). Между двумя вершинами $x=(x_0, \dots, x_{n-1})$ и $y=(y_0, \dots, y_{n-1})$ есть направленная связь $x \rightarrow y$ тогда и только тогда, когда $x_i = y_{i+1}$, $i=0, \dots, n-2$. Пример графа де Брейна для $n=3$ приведен на рис. 1.

Визуальная интерпретация графа де Брейна весьма наглядна для восприятия ее человеком, однако на практике в алгоритмах чаще всего используется матрица смежности. Квадратная матрица A размерности $2^n \times 2^n$ называется матрицей смежности графа де Брейна G_n тогда, когда каждый ее элемент отражает наличие связи между соответствующими вершинами. Так, например, если элемент a_{ij} матрицы A равен единице, значит, существует ребро от вершины v_i к вершине v_j . Иначе направленной связи между вершинами нет. Так, например, в графе де Брейна для $n=3$ (рис. 1) существуют направленные связи от вершин $v_2 = (010)$ и $v_6 = (110)$ к вершине $v_5 = (101)$, а именно $v_2 \rightarrow v_5$ и $v_6 \rightarrow v_5$.

Схема алгоритма формирования матрицы смежности приведена на рис. 2. Сначала, в соответствии с заданной степенью n , формируется двоичная маска индекса для каждой вершины, т.е. $mask=2^n-1$. Это достигается побитовым сдвигом изначально нулевой переменной $mask$ с последующим инкрементом на единицу. После формирования маски начинается строчное заполнение матрицы смежности A . Для каждой из 2^n строк матрицы элементам с индексами $(2i) \& mask$ и $(2i) \& mask + 1$ (здесь i – индекс текущей строки) присваиваются значения 1. Таким образом, устанавливается наличие всех направленных связей от вершины i .

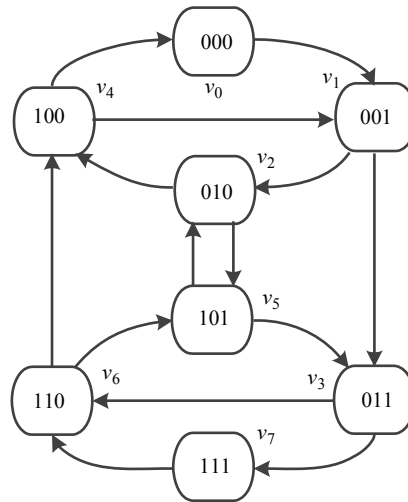


Рис. 1. Граф де Брейна для $n = 3$

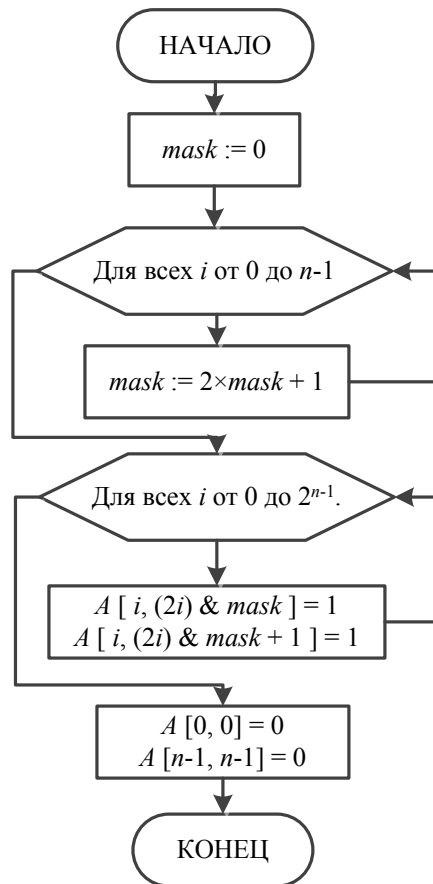


Рис. 2. Схема алгоритма формирования матрицы смежности

Рассмотрим вершины с индексами 0 и $n-1$. Так как $(2 \times 0) \& \text{mask} = 0$ и $(2(n-1)) \& \text{mask} + 1 = n-1$, полученная в результате матрица смежности будет содержать две кольцевые связи. Для приведения матрицы к корректному виду их необходимо удалить. Так, для $n=3$ в матрице A обнуляются элементы, соответствующие кольцевым связям вершин с индексами 0 и 7. Пример окончательно сформированной матрицы смежности для $n=3$ приведен ниже.

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Второй этап алгоритма представляет собой рекурсивную процедуру над строкой i матрицы смежности A , полученной ранее. Схема алгоритма рекурсивной процедуры получения последовательностей показана на рис. 3. В качестве параметров в процедуру передается индекс текущей строки i (изначально $i=0$) и текущее состояние выходной последовательности. Затем осуществляется проход по строке с индексом i матрицы смежности A в поисках элемента $a_{ij}=1$, где j – индекс текущего столбца.

Если находится элемент $a_{ij}=1$ (есть ребро из вершины i в вершину j), следует добавить индекс i в выходную последовательность. Затем обнуляется вся строка i (далее нас не интересуют ребра графа из вершины i) и столбцы i и j (далее не будут рассматриваться ребра в вершинах i и j). Данная процедура вызывается с индексом строки j в качестве параметра.

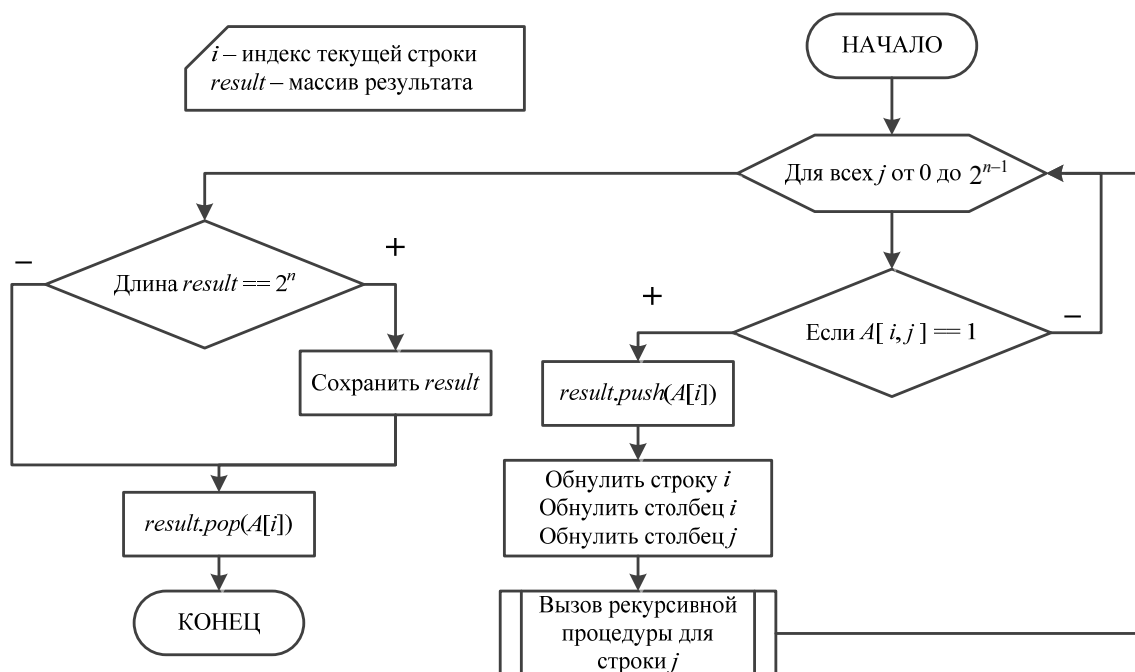


Рис. 3. Схема алгоритма рекурсивной процедуры поиска последовательностей де Брейна на основе матрицы смежности

Если в текущей строке не осталось единичных элементов, выходная последовательность при условии, что ее длина равна 2^n , сохраняется, а сама процедура завершается, возвращая управление на предыдущий уровень рекурсии.

Результатом выполнения рассмотренного алгоритма для $n=3$ являются следующие последовательности десятичных чисел, представляющие собой индексы вершин графа де Брейна: $result_1=\{1, 2, 5, 3, 7, 6, 4, 0\}$, $result_2=\{1, 3, 7, 6, 5, 2, 4, 0\}$. Осуществив деление по модулю 2 десятичных чисел для всех полученных результатов, найдем искомые двоичные последовательности де Брейна. Для $n=3$, это будут последовательности $result_1=\{1, 2, 5, 3, 7, 6, 4, 0\}=10111000$ и $result_2=\{1, 3, 7, 6, 5, 2, 4, 0\}=11101000$.

Ниже приводится пример использования последовательностей де Брейна для построения ПРКШ.

Пример псевдoreгулярной кодовой шкалы

На рис. 4 приведена линейная развертка шестиразрядной ПРКШ с двумя информационными КД. В примере старшая КД 1 шкалы построена в соответствии с символами последовательности де Брейна 00010111 длиной $L=2^n=2^3=8$, причем на КД 1 шкалы наносится только один период последовательности. Последовательность длиной $L=2^n$ определяет число квантов КД 1 шкалы, которое в нашем случае равно 8.

Отсюда величина кванта $\delta = 360^\circ/L = 360^\circ/8 = 45^\circ$. В примере размещение считывающих элементов (СЭ) 3, 4 и 5 вдоль КД 1 осуществляется с шагом, равным величине одного кванта δ КД по ходу часовой стрелки.

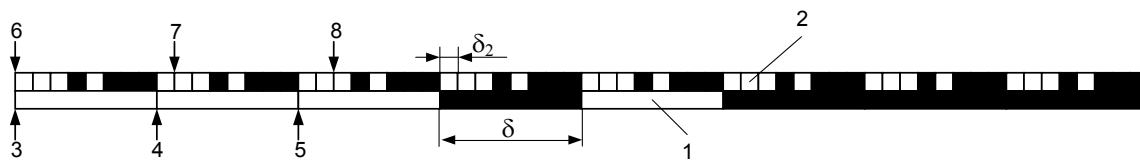


Рис. 4. Двухдорожечная псевдорегулярная кодовая шкала

Младшая КД 2 шкалы построена в соответствии с символами той же последовательности де Брейна, что и старшая КД. Причем на КД 2 шкалы наносятся 8 периодов последовательности, определяющих число квантов младшей КД шкалы, которое в данном примере равно 64. Отсюда величина кванта КД 2 $\delta_2 = 360^\circ/L^2 = 360^\circ/64 = 5,625^\circ$. В примере размещение СЭ 6, 7 и 8 вдоль младшей КД 2 осуществляется с шагом, равным величине $(\delta + \delta_2) = 45^\circ + 5,625^\circ = 50,625^\circ$ по ходу часовой стрелки.

В нашем примере суммарная разрядность, обеспечиваемая двумя КД при рассмотренном выше размещении СЭ, будет равна 6.

Фиксируя считывающими элементами 3–8 последовательно кодовую комбинацию при перемещении ПРКШ циклически на один элементарный участок (квант) младшей КД δ_2 , например, против хода часовой стрелки, получаем 64 различных шестиразрядных кодовых комбинаций, которые соответствуют 64 угловым положениям шкалы.

В рассматриваемом примере для построения старшей и младшей КД использована одна и та же двоичная последовательность де Брейна. Однако в общем случае допускается использование как одинаковых, так и различных последовательностей, причем с увеличением разрядности двухдорожечной ПРКШ число вариантов ее построения также возрастает.

Заключение

В работе представлен алгоритм генерации всех двоичных последовательностей де Брейна заданной степени. Показано, что использование таких последовательностей дает дополнительные возможности для выбора наиболее технологичного варианта построения псевдорегулярной кодовой шкалы (и, как следствие, цифровых преобразователей угла на ее основе), что связано с возможностью многовариантного размещения на шкале считывающих элементов и большим разнообразием кодирующих масок.

Литература

1. Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла: Принципы построения, теория точности, методы контроля. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 328 с.
2. Азов А.К., Ожиганов А.А., Тарасюк М.В. Рекурсивные кодовые шкалы // Информационные технологии. – 1998. – № 6. – С. 39–43.
3. Ожиганов А.А. Псевдослучайные кодовые шкалы // Изв. вузов. Приборостроение. – 1987. – Т. 30. – № 2. – С. 40–43.
4. Ожиганов А.А. Корректирующие возможности псевдослучайных кодовых шкал // Изв. вузов. Приборостроение. – 1988. – Т. 31. – № 7. – С. 26–30.
5. Ожиганов А.А., Тарасюк М.В. Композиционные кодовые шкалы // Изв. вузов. Приборостроение. – 1994. – Т. 37. – № 5, 6. – С. 26–29.
6. Ожиганов А.А. Алгоритм размещения корректирующих считывающих элементов на псевдослучайной кодовой шкале // Изв. вузов. Приборостроение. – 1995. – Т. 38. – № 7, 8. – С. 33–36.
7. Ожиганов А.А. Анализ кодовых шкал преобразователей угла // Изв. вузов. Приборостроение. – 1996. – Т. 39. – № 4. – С. 32–35.
8. Ожиганов А.А., Тарасюк М.В. Преобразование присоединенных псевдослучайных кодов в обыкновенный двоичный код // Изв. вузов. Приборостроение. – 1997. – Т. 40. – № 5. – С. 47–52.
9. Азов А.К., Ожиганов А.А. Устранение неоднозначности считывания в преобразователях перемещения с рекурсивными кодовыми шкалами // Информационные технологии. – 2001. – № 6. – С. 39–42.
10. Азов А.К., Ожиганов А.А., Тарасюк М.В. Преобразование композиционных кодов в обыкновенный двоичный код // Информационные технологии. – 2003. – № 1. – С. 47–51.
11. Ожиганов А.А., Прибыткин П.А. Псевдорегулярные кодовые шкалы для цифровых преобразователей угла // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 1 (71) – С. 67–72.
12. Ожиганов А.А., Захаров И.Д. Использование порождающих полиномов М-последовательностей при построении псевдослучайных кодовых шкал // Изв. вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54. – № 6. – С. 49–56.
13. De Bruijn N.G. A combinatorial problem // Koninklijke Nederlandse Akademie v. Wetenschappen. – 1946. – V. 49. – P. 758–764.

14. Abraham Lempel. On a Homomorphism of the de Bruijn Graph and Its Applications to the Design of Feedback Shift Registers // IEEE Transactions on Computers. – 1970. – V. C-19. – № 12. – P. 1204–1209.
15. Abbas M. Alhakim. A simple combinatorial algorithm for de Bruijn sequences // The American Mathematical Monthly. – 2010. – V. 117. – № 8. – P. 728–732.

- Ожиганов Александр Аркадьевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, ojiganov@mail.ifmo.ru
- Захаров Илья Дмитриевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, zakharov_ilya@hotmail.com

УДК 334.02

ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

П.В. Бураков, Д.Э. Курочкин

Рассматривается управленческая задача создания надежной, современной, адаптивной, гибкой и функциональной ИТ-инфраструктуры предприятия, являющейся основой эксплуатации корпоративных информационных систем, а также тестирования и внедрения новых бизнес-приложений. Решение этой проблемы связано с решением целого комплекса задач, в основе которого лежит формирование ИТ-стратегии предприятия. Стратегия определяет набор приоритетных инициатив в области информационных технологий, который позволяет согласованно и скоординировано развивать информационно-технологический комплекс предприятия с участием всех подразделений на базе единых требований для достижения стратегических целей предприятия.

Ключевые слова: ИТ-инфраструктура предприятия, ИТ-стратегия предприятия, приоритетные инициативы в области информационных технологий, стратегические цели предприятия, оптимизация управленческих процессов, системный проект создания комплексной информационной системы.

Введение

Современные мировые тенденции в развитии информационных технологий (далее ИТ – Information Technology) кардинально изменяют их роль в развитии бизнеса компаний. Сегодня новая техника и технологии применяются не только для автоматизации сбора и обработки данных, но и для реализации новых идей, новых способов получения конкурентного преимущества. ИТ становятся незаменимым инструментом достижения стратегических целей и устойчивого развития предприятия. Информационные системы способны своевременно предоставлять необходимую, достоверную и взвешенную информацию, распределенную по основным направлениям финансово-экономической и производственной деятельности компании, пригодную для всестороннего анализа и достаточную для принятия решения.

В настоящее время среди руководителей компаний и менеджеров всех уровней формируется отношение к информационной деятельности как к одной из важнейших для компании. Все больше предприятий понимают необходимость создания и развития надежной, современной, адаптивной, гибкой и функциональной ИТ-инфраструктуры, представляющей собой комплекс взаимосвязанных систем, оборудования и коммуникационных каналов, объединяющих отдельно стоящие программно-аппаратные комплексы в единую среду взаимодействия.

Особую значимость задача развития ИТ-инфраструктуры получает для крупных компаний и холдингов, обладающих сложной корпоративной структурой, обуславливающей трудности в работе с корпоративной информацией: постоянно растущий объем документов, появление новых партнеров, необходимость постоянного взаимодействия сотрудников удаленных филиалов и обеспечение выполнения сквозных процессов [1]. ИТ-инфраструктура для таких предприятий должна удовлетворять требованиям высокой масштабируемости, открытости, интегрируемости, а также поддержки территориально-распределенной работы. Для этого ИТ-инфраструктура должна включать в себя единое комплексное программное решение, состоящее из модулей управления производством (MRP II, MES, APS), финансами, закупками, снабжением, цепочками поставок, сбытом, качеством, ремонтом и обслуживанием оборудования, конструкторской и технологической подготовкой производства, персоналом, модулей бюджетирования и контроллинга, бухгалтерского и налогового учета, а также OLAP многомерного бизнес-анализа.

Постановка задачи

Эффективное решение проблемы развития ИТ-инфраструктуры предприятия требует решения целого комплекса задач:

- формирование ИТ-стратегии предприятия;
- анализ и оценка текущего состояния ИТ-обеспечения предприятия;
- формирование концепции развития ИТ;
- подход к реализации концепции развития ИТ;

- организация работ по реализации концепции развития ИТ;
- технико-экономическое обоснование отдельных проектов информатизации предприятия на основе выделяемых факторов эффективности.

Основной результат

ИТ-стратегия – это программа развития информационных систем в соответствии со стратегией развития предприятия, текущими и будущими потребностями бизнеса. При разработке ИТ-стратегии закладываются основные параметры создаваемой информационной платформы, чтобы она отвечала следующим требованиям:

- масштабируемость – система должна учитывать растущие потребности предприятия;
- гибкость – система должна быть легко настраиваемой под изменения внутренних бизнес-процессов и внешней среды;
- стандартизация – различные компоненты системы должны быть совместимыми и соответствовать требованиям информационной безопасности;
- экономическая эффективность – использование того или иного решения должно быть оправдано экономически;
- независимость – заказчик не должен попадать в зависимость от поставщиков решений, при этом не должна возникать необходимость в содержании собственного штата программистов.

Взаимосвязь стратегических целей и задач предприятия и стратегии информатизации может быть выражена следующим образом:

- бизнес-стратегия определяет направления развития основной области деятельности предприятия и причины движения в данном направлении;
- стратегия информатизации идентифицирует ИТ, которые требуются для поддержки и оптимизации бизнес-стратегии, и показывает, как эти технологии и системы могут быть реализованы на предприятии [2].

Таким образом, стратегия информатизации призвана определить набор приоритетных инициатив в области ИТ, который позволит согласованно и скоординировано развивать информационно-технологический комплекс предприятия с участием всех подразделений на базе единых требований для достижения стратегических целей предприятия.

Анализ существующих на предприятии информационных систем осуществляется с целью определения их соответствия функциональным задачам бизнеса на разных уровнях управления, пользовательского окружения, структуры информационных потоков, организации хранения данных и доступа к ним. Целью такой диагностики является определение текущего состояния ИТ-обеспечения для его дальнейшего развития в соответствии с разрабатываемой стратегией ИТ.

Для проведения диагностики должны быть выполнены следующие основные задачи:

- диагностика ИТ-обеспечения основных функциональных бизнес-процессов и инструментов управления;
- анализ ИТ-инфраструктуры;
- характеристика обеспечения информационной безопасности;
- характеристика организационного обеспечения ИТ;
- типологизация и характеристика затрат на ИТ-обеспечение.

Формирование концепции развития ИТ должно базироваться на ряде основополагающих принципов:

- развитие ИТ должно находиться в русле стратегического развития предприятия: ИТ должны быть стратегическим компонентом архитектуры бизнеса предприятия;
- закрепление в архитектуре ИТ структуры деятельности предприятия и содержания ключевых бизнес-процессов этой деятельности;
- удовлетворение приоритетных задач бизнеса: снижение затрат, улучшение управляемости предприятия, финансовая прозрачность, единое информационное пространство;
- защита инвестиций в ИТ: внедрение систем, наименее подверженных риску неопределенности бизнес-стратегии;
- комплексное решение: инвестиции в ИТ должны идти на создание «целостного актива»;
- баланс между текущими и стратегическими задачами: реализация долгосрочных проектов в области ИТ не должна приводить к блокированию текущей работы функциональных подразделений.

Реальная отдача от автоматизации предприятия может быть получена в большой степени за счет оптимизации управленческих процессов на предприятии, управления операционными процессами и управления финансовыми фондами. Следовательно, развитие ИТ предприятия должно идти по четырем основным направлениям:

1. последовательная автоматизация всех операционных процессов, обеспечивающих снижение затрат и улучшение ключевых показателей эффективности бизнес-подразделений предприятия;

2. развитие корпоративной информационной системы, основанной на интегрированном решении и эффективных процедурах сбора, обработки и предоставления информации;
3. создание инфраструктуры ИТ, удовлетворяющей современным требованиям по уровню надежности и безопасности;
4. повышение эффективности работы пользователей и персонала блока ИТ [3].

Разработка системного проекта по созданию комплексной информационной системы, предполагающего интеграцию действующих и создаваемых компонент (по функциональности, структуре данных, их преобразованию и организации доступа), является основополагающим подходом к реализации концепции развития ИТ. Объем и сроки реализации отдельных проектов определяются по результатам оценки текущего состояния ИТ-обеспечения предприятия, детального анализа результатов и определения направления развития ИТ предприятия. Программа реализации проектов начинается с выполнения комплекса работ по подготовке к внедрению и детальному планированию работ по отдельным задачам автоматизации бизнес-функций в рамках стратегии развития ИТ.

Организация работ по реализации концепции связана с определением ролей и функций подразделений ИТ обеспечения. В организационной структуре департамента ИТ выделены подразделения, отвечающие за развитие ИТ – это отдел управления проектами ИТ. Деятельность этого подразделения строится на проектной основе. Начальник данного отдела формирует необходимое количество проектных команд (по числу проектов по их направлению), в которых собраны сотрудники соответствующей специализации. При этом проектные команды могут формироваться из специалистов, находящихся в административном подчинении у других начальников отделений, в зависимости от специфики каждого конкретного проекта [4].

Управление процессом реализации стратегии ИТ и контроль над ходом и результатами каждого из проектов строятся на основе следующих принципов:

- в службе ИТ должна существовать группа специалистов-аудиторов качества проектов;
- в каждом проекте должен быть контролер качества;
- на предприятии должны быть четко определены и утверждены принципы управления проектными рисками;
- на предприятии должны быть утверждены единые показатели контроля проектных процессов;
- мотивация участников проекта должна быть связана с результатом проекта;
- обязательной является процедура контроля проекта по его завершению;
- должна быть установлена единая частота контрольных процессов;

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) – это изучение экономической выгоды, анализ и расчет экономических показателей проекта. Задачей составления ТЭО является оценка затрат на проект развития ИТ-инфраструктуры предприятия и его результатов, анализ срока окупаемости проекта.

Заключение

Развитие информационно-технологического комплекса предприятия должно осуществляться на основании разработанной ИТ-стратегии. Стратегия обеспечивает унификацию применяемых на предприятии методологий, повышает оперативность реализации изменений в различных аспектах системы управления, в том числе при интеграции новых бизнес-приложений, а также обеспечивает максимальную отдачу от инвестиций в информационные технологии за счет выделения средств на наиболее приоритетные проекты и инициативы в области информатизации. При этом необходимо учитывать, что полная и своевременная реализация ИТ-стратегии развития предприятия требует активного участия руководства, что во многом обеспечит достижение стратегических целей и долгосрочный успех деятельности предприятия во всех областях.

В итоге предприятие получает надежную, гибкую и масштабируемую ИТ-инфраструктуру, позволяющую на качественно новом уровне организовать такие процессы, как управление проектной деятельностью, управление операционной деятельностью, управление рисками, управление продажами, управление финансами и другими бизнес-процессами. ИТ-инфраструктуры повышают эффективность информационного обмена между структурными подразделениями предприятия, оперативность принятия решений и реализации возложенных на каждое из таких подразделений задач, что является одним из наиболее значимых факторов успешности предприятия – его рентабельности, прибыльности, конкурентоспособности.

Литература

1. Литвиненко О.А. Концептуальные аспекты системы управления информатизацией предприятия // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 1 (71). – С. 120–123.
2. Гурков И.Б. Стратегия и структура корпорации. – М.: Дело, 2008. – 288 с.
3. Михайлов А. Стратегическое планирование развития системы информационного обеспечения. – М.: Высшая школа международного бизнеса АНХ, 2001. – 134 с.

4. Данилин А., Слюсаренко А. Архитектура и стратегия. «Инь» и «Янь» информационных технологий предприятия. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2005. – 504 с.

Бураков Петр Васильевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат экономических наук, доцент, pv_burakov@mail.ru

Курочкин Дмитрий Эдуардович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, соискатель, d.e.kurochkin@gmail.com

УДК 62-503.51

**КИНЕМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
СКАНИРУЮЩЕЙ АНТЕННОЙ****Г.Б. Заморев, И.И. Калапышина**

Рассматривается кинематическая схема двухпараметрической сканирующей антенны и характер ее движения. Предложена имитационная модель механического модуля антенного устройства в пакете SimMechanics и получено решение аналитических уравнений движения механического модуля с помощью функций пакета программ MATLAB. Проведено сравнение численных результатов, полученных при одинаковых начальных условиях с использованием имитационной модели механического модуля в пакете SimMechanics и аналитических уравнений движения в пакете программ MATLAB. Смоделирован случай с дополнительным углом поворота.

Ключевые слова: моделирование, сканирующая антенна, кинематика, система рычагов.

Введение

Сканирующей антенной называют устройство, при управляемом пространственном перемещении которого по определенному закону последовательно «просматривается» заданный сектор или другая зона обзора. Такое сканирование осуществляется за счет механического вращения антенны, обеспечивающего обзор заданной зоны. Кинематическое управление заключается в выборе и компоновке необходимых для заданного характера движения кинематических пар, обеспечивающих точное и однозначное положение антенны в пространстве. Исследования кинематики подобных устройств проводятся графоаналитически – методом планов, графически – методом кинематических диаграмм, а также аналитически. В работе предложено аналитическое моделирование кинематики двухпараметрической сканирующей антенны в пакете программ MATLAB и ее пакете SimMechanics, заключающееся в построении имитационной модели в пакете SimMechanics и создании матричных уравнений движения механического модуля антенного устройства в пакете программ MATLAB.

Метод построения моделей механизмов в среде SimMechanics рассмотрен в книге Ю.В. Лазарева [1] на примерах математического маятника и гироскопа на вибрирующем основании. Интересный пример продемонстрирован в работе В.М. Мусалимова, М.С. Петрищева, Чан Нгок Чау [2], где предложены решения дифференциальных уравнений, описывающих поведение нелинейного маятника. В приведенных выше примерах рассматриваются идеальные математические объекты, на которые накладываются внешние возмущения.

Авторами предложено применить подобный подход к более сложному устройству, каковым является механический модуль антенны. Аналитическое решение методами классической механики трудоемко и ненаглядно. Исследование кинематики графическими методами не позволяет получить требуемой точности. Предлагаемое решение позволяет средствами MATLAB создать модель, которая максимально приближена к реальной, наиболее точно симулирует кинематику системы и позволяет получить визуализацию движения, а также сравнить численные данные с аналитическим решением.

Предметом исследования является механический модуль сканирующей антенны, работающей в миллиметровом диапазоне длин волн и входящей в состав бортовой радиолокационной станции. Управление положением рабочей части антенны осуществляет система рычагов, вынесенных на периферию отражателя (рис. 1, а). Их совместная работа приводит к нелинейному характеру движения рабочего органа, что, в свою очередь, влечет нарастание ошибок в положении сканирующего луча. Сложная кинематическая схема объекта исследования и жесткие ограничения, наложенные на точность положения сканирующего луча (порядка $15'$), требуют детального исследования характера движения механического модуля и определения допустимого углового диапазона работы антенны в целом.

Описание кинематической схемы

Для работы сканирующей антенны, частью которой является описываемый механический модуль, требуется сложная с точки зрения механики система, которая способна обеспечить требуемые допустимые углы отклонения (прокачки) антенны ($\pm 15^\circ$ по азимутальной и угломестной осям) и достаточную точность ее позиционирования в пространстве ($6'$). Кинематическая схема механического модуля антенного устройства показана на рис. 1, а. Вращение твист-рефлектора (его также уместно называть отражателем) относительно осей ОУ и ОZ осуществляется посредством жесткой дуги и осей скольжения. Дуга связана с твист-рефлектором через неподвижное кольцо, на котором установлены опоры скольжения, обеспечивающие подвижность твист-рефлектора вокруг оси ОУ. Для обеспечения подвижности системы вокруг оси ОZ дуга устанавливается в подшипниковый узел, состоящий из четырех пар опор качения.

Передача вращения от двигателей к отражателю производится через шатуны. Каждый шатун представляет собой систему рычагов, соединенных шарниром. Ведущий рычаг совмещен с двигателем и трансформатором в едином корпусе и на одном валу (рис. 1, а). Ведомые рычаги соединены с отражателем при помощи двусосных карданов [3].

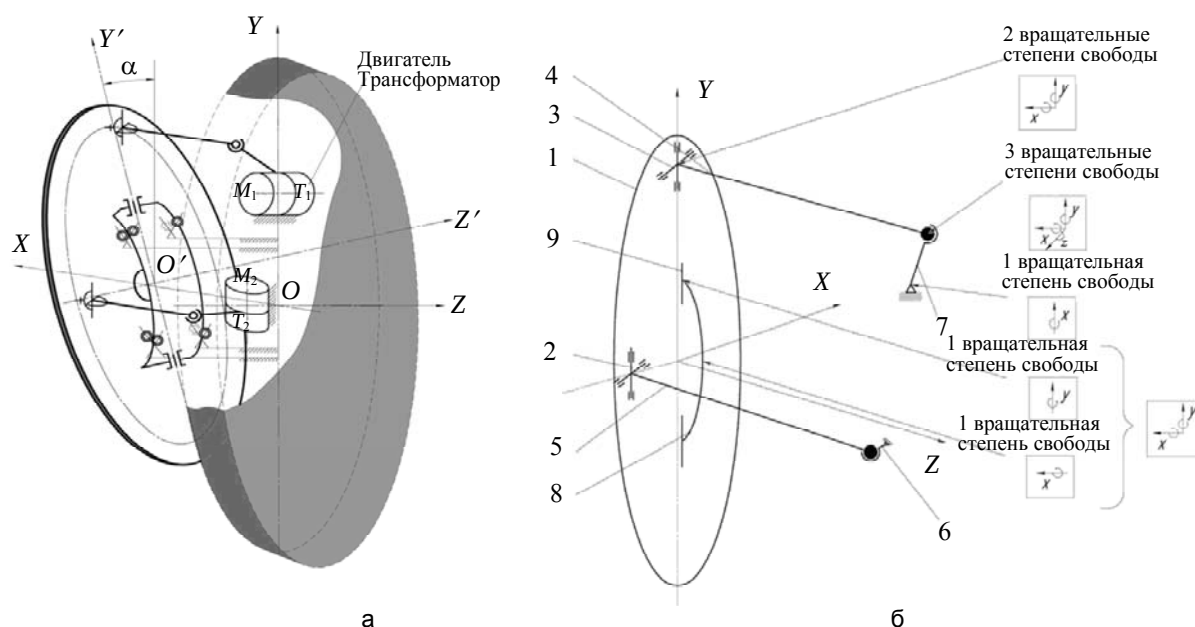


Рис. 1. Кинематические схемы механического модуля антенного устройства: развернутая (а); упрощенная (б)

Как объект механики, рассматриваемый прибор является устройством с параллельной кинематикой, имеющим два однотипных (параллельных) рычажных привода [3]. Устройство составлено из пяти звеньев, соединенных кинематическими парами, три из которых являются шарнирами: карданы (четвертого класса), два сферических шарнира (третьего класса) и два плоских шарнира (пятого класса). Такая структура механизма обеспечивает две независимые степени свободы. Возвратно-вращательное движение осуществляется за счет вертикально и горизонтально расположенных кривошипов. Возможны прямая и обратная постановка задачи кинематического управления:

- по двум заданным угловым отклонениям твист-рефлектора найти соответствующие положения двух ведущих кривошипов;
- по заданным угловым положениям кривошипов найти угловые отклонения твист-рефлектора.

Движение ведомого звена 1 (рис. 1, б) рассматривается как два вращательных движения вокруг оси ОХ (угломестной) и оси ОУ (азимутальной). Для реализации этого движения используются двусосный азимутальный кардан 2 и двусосный угломестный кардан 3, которые имеют по две вращательные степени свободы относительно осей ОУ и ОХ. Для передачи управляющего движения от двигателя к отражателю 1 используются системы рычагов 4, 7 и 5, 6, которые попарно соединены между собой сферическим шарниром, имеющим 3 вращательные степени свободы. Условно считаем двигатель закрепленным элементом, а генерируемое им движение – реверсивным вращением вокруг оси ОХ. Карданы 3 и 4 обеспечивают степени свободы для движения тяг 4 и 5. Движение твист-рефлектора 1 обеспечивается осями 9 (относительно ОУ) и опорной дугой 8 (относительно ОХ), которая на рис. 1, б, изображена условно. При моделировании центральная развязка преобразована в один блок с двумя соответствующими степенями свободы, расположенный в геометрическом центре элемента 1.

Имитационная модель в программе MATLAB в пакете SimMechanics – блочная модель

На рис. 2, а, представлена модель, созданная с помощью пакета SimMechanics. Каждый из блоков выполняет функции либо тела – детали, либо сочленения [4]. Для всей последующей структуры имитационной модели связь блоков Machine Environment, Ground, Universal, Zerkalo3 задает гравитационные силы, приложенные к центру координат, в котором расположен центр твист-рефлектора, а также формирует геометрию твист-рефлектора. Соединение Zerkalo3, Universa2, Tjga1 определяет положение тяги в координатной системе твист-рефлектора, их соединение с помощью двусосного кардана. Tjga1, Spherical и Shatun1 определяют положение кривошипа относительно начала координат и способ его соединения с тягой; Shatun1, Revolute, Ground1 – соединение шатуна с двигателем. Joing Actuator, Sine Weve имитируют работу двигателя. В управляющем *m*-файле для идеального варианта были вычислены моменты инер-

ции для всех элементов механической системы, а также написаны тензоры инерции [4]. Масса отражателя вычислена по формуле

$$m_l = \pi \cdot R^2 \cdot b \cdot g_{m1},$$

где R – радиус отражателя; b – средняя толщина поля отражателя; g_{m1} – плотность материала отражателя.

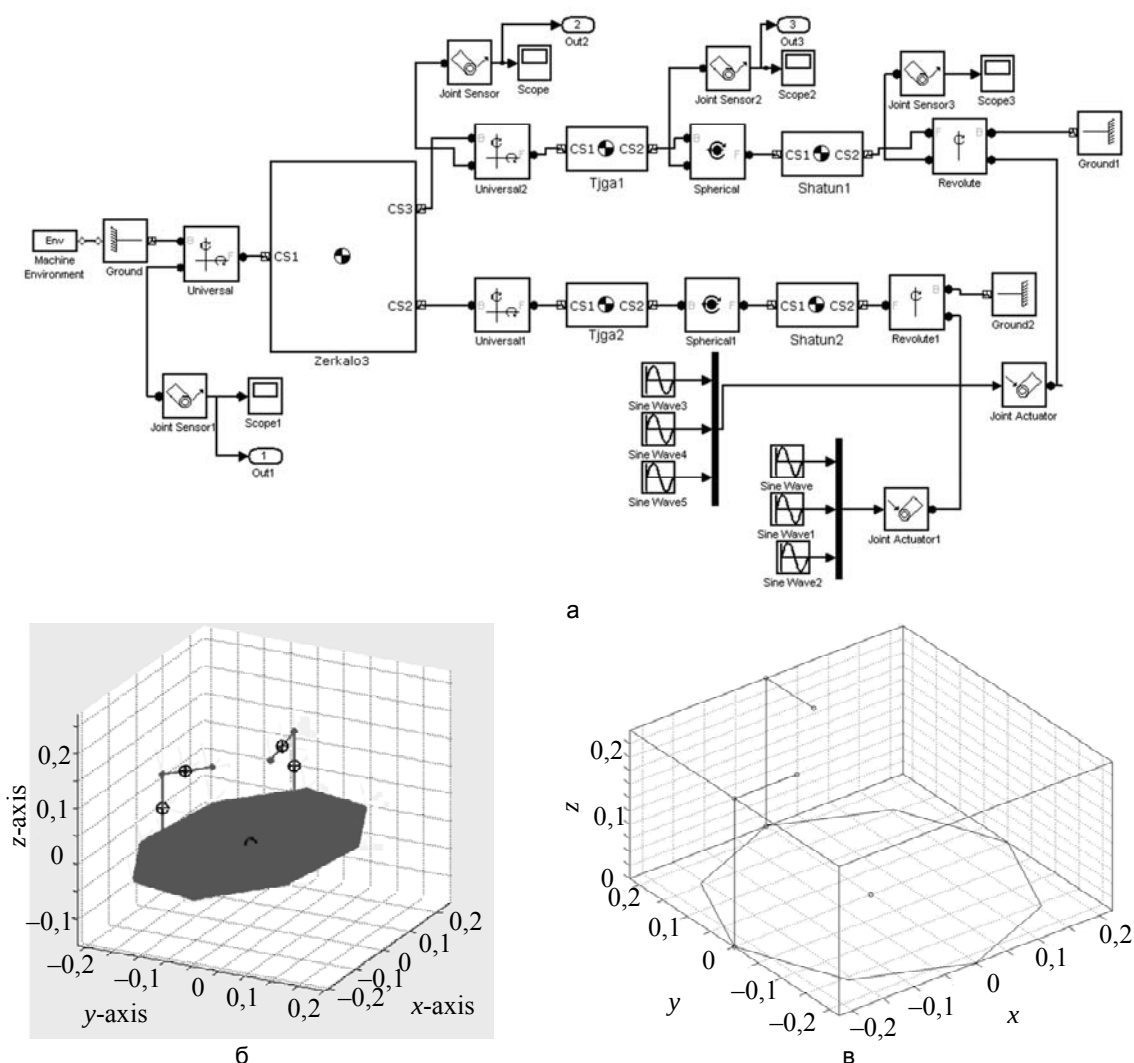


Рис. 2. Имитационное моделирование механического модуля антенного устройства в пакете SimMechanics: имитационная модель механического модуля антенного устройства в пакете SimMechanics (а); структурная схема пространственного положения механизма, результат работы имитационной модели в пакете SimMechanics (б); результат работы аналитической модели в программе MATLAB (в)

Моменты инерции отражателя по трем осям

$$I_{lz} = \frac{m_l \cdot R^2}{2}; I_{lx} = \frac{m_l \cdot R^2}{4}; I_{lx} = I_{ly} \Rightarrow J_l = \begin{bmatrix} I_{lx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{ly} & 0 \\ 0 & 0 & I_{lz} \end{bmatrix}.$$

На рис. 2, б, показан результат работы имитационной модели пакета SimMechanics, который демонстрирует взаимное расположение твист-рефлектора и кривошипов в пространстве при решении прямой или обратной задач кинематического управления. Модель предусматривает формирование видео-файла, в котором демонстрируется характер движения механической системы. Использование в схеме (рис. 2, а) блоков Joint Sensor позволяет в общем случае измерить такие характеристики относительного движения частей механизма, как угол поворота, угловую скорость, угловое ускорение [4].

Аналитическая модель в программе MATLAB

Для связывания углов отклонения твист-рефлектора φ_{1x} , φ_{1y} с соответствующими угловыми положениями кривошипов φ_{3x} (вертикальный кривошип) и φ_{5y} (горизонтальный кривошип) необходимо

составить непрерывные кинематические связи-зависимости по линиям двух рычажных приводов. Для этого целесообразно использовать математический аппарат пошагового матричного координатного перехода от системы, связанной с отражателем, к системе, связанной с кривошипами. Начало неподвижной (глобальной) координатной системы целесообразно расположить в центре отражателя в месте ее присоединения шарниром Кардана к неподвижной стойке. Шарниры кардана, соединяющие отражатель с приводными рычагами, расположены в данном случае на оси ОУ (вертикальный привод) и на оси ОХ (горизонтальный привод). По этой причине повороты координат относительно оси ОZ на указанные шарниры в данном случае можно не делать. Всего для связывания координат необходимо произвести по десять одношаговых переходов по каждой из двух линий привода. При этом каждая линия дает по пять переменных величин (все угловые) и по пять конструктивно известных (постоянных) величин, четыре из которых – поступательные смещения вдоль рычагов, а один – угол настройки плоскости монтажа шарнира кардана.

Для угломестного рычага (обеспечивает вращение вокруг оси ОХ, рис. 1, б)

$$A_x(\varphi_x)A_y(x_5)A_z(-l_3)A_x(x_4)A_y(x_3)A_z(l_2)A_y(x_2)A_x(x_1)A_z(\varphi_{z4})A_z(-l_1)r-r_v=0. \quad (1)$$

Для азимутального рычага (обеспечивает вращение вокруг оси ОУ, рис. 1, б)

$$A_y(\varphi_y)A_x(x_{11})A_z(l_5)A_z(x_{10})A_y(x_9)A_z(l_4)A_x(x_8)A_y(x_7)A_z(\varphi_{z4})A_z(-l_1)r-r_g=0, \quad (2)$$

где r – радиус-вектор центра твист-рефлектора в системе; A – матрицы пошагового перехода; x, y, z – индексы в матрицах, обозначающие ось поворота системы координат; d – поступательное смещение координат; l_n – длина n -го рычажного звена; r_v, r_g – радиус-вектор центра отражателя в системе вертикального и горизонтального кривошипа.

Два вышеуказанных уравнения могут обеспечить нахождение не более шести неизвестных, поэтому систему следует дополнить уравнениями, связанными с углами поворота отражателя φ_{1x} и φ_{1y} . Для этого выражения (1) и (2) дополняются двумя одношаговыми матрицами поворота отражателя $A_x(\varphi_{1x})$ и $A_y(\varphi_{1y})$. Заметим, что орты осей – это векторы (а не радиус-векторы точек), поэтому переходы, связанные с поступательным смещением, можно опустить (отбросить). В то же время орты – это заведомо единичные векторы, поэтому для решения задачи из матричного уравнения можно использовать не три, а только две проекции. Таким образом, два матричных уравнения для орт-вектора оси (например, ОZ) дают четыре, а не шесть добавочных уравнений. В то же время один орт, нормальный к плоскости отражателя, определяет положение этой плоскости, но не определяет ее положение в плоскости. По этой причине необходимо записать еще два матричных уравнения для любого из двух оставшихся ортов (например, ОХ), но использовать из этих матричных уравнений только по одному. Таким образом, имеем шесть уравнений проекций радиус-вектора, четыре уравнения связывания орта оси ОZ отражателя и два уравнения для орта оси ОХ (или ОУ). Всего получаются 12 уравнений, обеспечивающих нахождение 12 неизвестных.

Матричные уравнения для орта оси ОZ имеют вид

$$[A_x(-x_6)A_y(-x_{12})A_x(\varphi_x)A_y(x_5)A_x(x_4)A_y(x_3)A_z(x_2)A_x(x_1)A_z(\varphi_{z2})-I] \cdot e_z=0; \quad (3)$$

$$[A_x(-x_6)A_y(-x_{12})A_y(\varphi_y)A_x(x_{11})A_z(x_{10})A_y(x_9)A_x(x_8)A_y(x_7)A_z(\varphi_{z4})-I] \cdot e_z=0; \quad (4)$$

где I – единичная матрица 4×4 элемента; e_z – орт нормали по оси z .

При получении последних уравнений отброшены шаги, связанные с поступательными смещениями, хотя в вычислительной практике этого можно и не делать с целью унификации вычислительных функций.

Два оставшихся матричных уравнения (для краткости не приводим их в тексте) отличаются от (3) и (4) только ортом e_x вместо e_z . В приведенных уравнениях заданными являются угловые положения приводных кривошипов φ_{x3} и φ_{y5} , а искомыми x_6 и x_{12} – угловые положения отражателя. Можно легко изменить цель решения, заменяя в соответствующих одношаговых матрицах x_6 и x_{12} на φ_{1x} и φ_{1y} , а искомые величины x_6 и x_{12} внести в матрицы углов поворота ведущих кривошипов. Решение системы из 12 уравнений определит положение каждого элемента механической системы. На рис. 2, в, показано нулевое положение механизма.

Сравнение результатов работы имитационной модели в программе MATLAB в пакете SimMechanics и аналитической модели в программе MATLAB

Для сравнения работы моделей выбрано угловое положение элемента 1 (рис. 1, а) вдоль осей ОХ и ОУ и входной угол отклонения кривошипа. Расхождение углов отклонения по осям ОХ и ОУ для блочной модели в программе MATLAB в пакете SimMechanics при совместном действии двух приводов показано на рис. 3, а. Углы отклонения задаются равными для каждого привода в интервале от 0° до 40° . Из рис. 3, а, видно, что при больших углах отклонения кривошипов при наличии двух степеней свободы происходит «наложение» отклонений. В имитационной модели расхождение углов отклонения отража-

тела становится интенсивно нарастающим при превышении азимутального или угломестного углов 17° (рис. 3, в). Тот же результат дает аналитическая модель в программе MATLAB (рис. 3, б). Для сравнения результатов работы двух моделей было вычислено среднее значение отклонения (рис. 3, в). Допустим, что углы отклонения отражателя по двум осям имеют одинаковое значение. Величина максимального расхождения между средними значениями данных $\Delta_{\max} \approx 31'$. Наибольшее различие проявляется после достижения рычагами 6 и 7 (рис. 1, б) 25° . Далее был задан дополнительный поворот в кардане. В имитационной модели задание дополнительной степени свободы в кардане приводит к выравниванию углов отклонения по угломестной и азимутальной осям и к неуправляемости объекта. В аналитической модели задание дополнительного угла поворота в карданах было выполнено при $\varphi = 5^\circ$ и моделирует погрешность монтажа кардана.

На рис. 3, г, показан сравнительный график положения отражателя без перекоса в оси кардана и с перекосом. Максимальное различие между кривыми составляет $0,012^\circ$. Увеличение угла перекоса в кардане по оси OZ ведет к перераспределению углов отклонения отражателя.

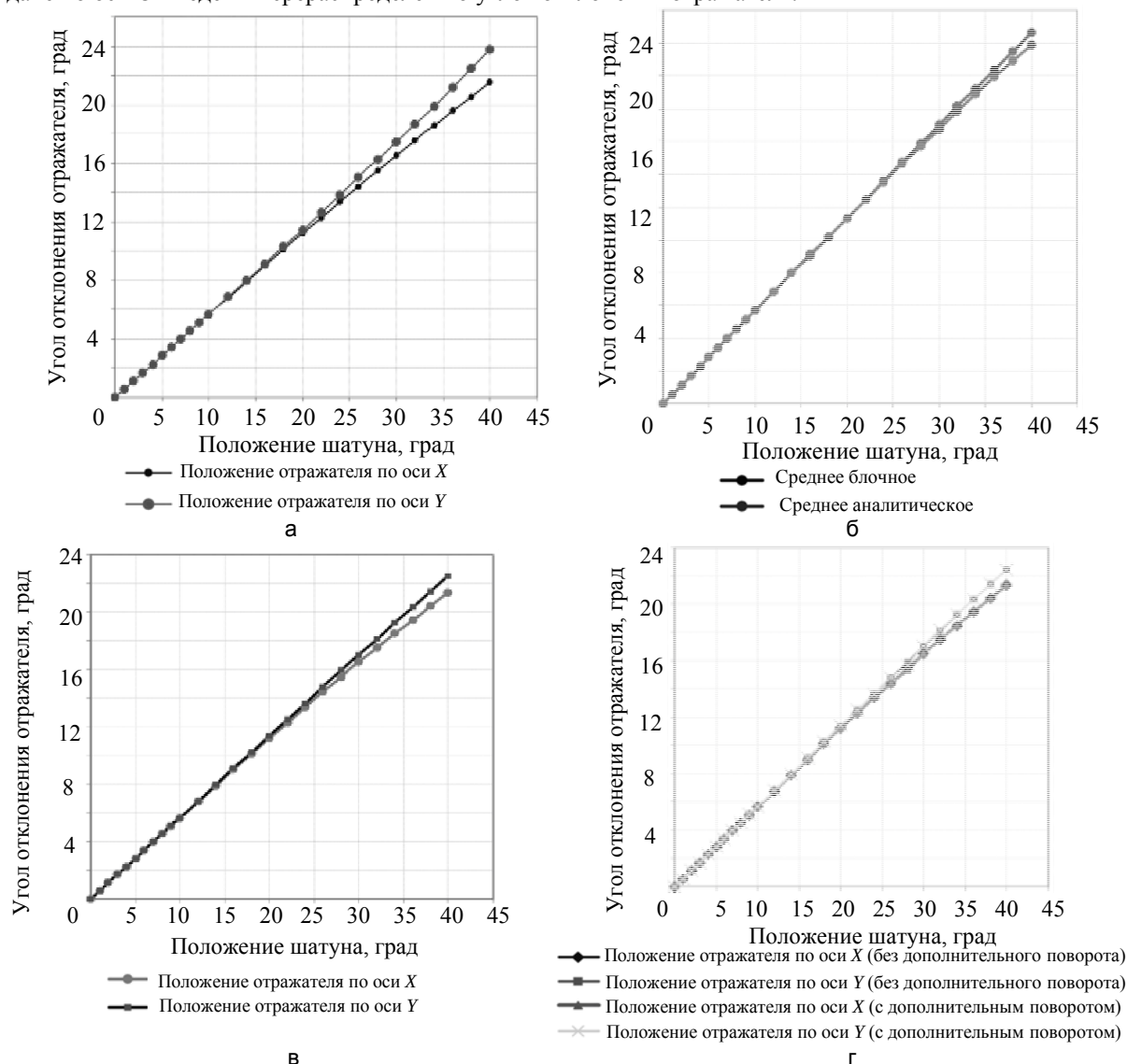


Рис. 3. Графики сравнения результатов работы имитационной (пакет SimMechanics) и аналитической (программа MATLAB) моделей: результат работы блочной модели в программе MATLAB в пакете SimMechanics (а); результат работы аналитической модели в программе MATLAB (б); усредненные значения блочной и аналитической модели (в); положение отражателя с дополнительным поворотом кардана и без него (г)

Заключение

В работе описаны два метода исследования кинематики двухпараметрической сканирующей антенны при решении задач кинематического управления: в программе MATLAB и пакете SimMechanics при помощи построения имитационной модели и решения аналитических уравнений движения. Расхож-

дение данных между аналитическим решением и результатом работы имитационной модели составило $\Delta_{\max} \approx 31'$. Имитационное моделирование позволило визуализировать движение модуля, наглядно показав характер движения и его особенности.

Сделаны выводы о допустимых углах отклонения ($\pm 15^\circ$ по азимутальной и угломестной осям), при которых величина ошибки, обусловленная кинематическими особенностями механизма, минимальна и не превышает $5'$, что удовлетворяет требованиям технического задания на точность механического модуля сканирующей антенны.

Литература

1. Лазарев Ю.В. Моделирование процессов и систем в MATLAB: Учебный курс. – СПб: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.
2. Мусалимов В.М., Петрищев М.С., Чан Нгюк Чау. Моделирование динамики нелинейных маятников на вибрирующем основании // Изв. вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – № 7. – С. 48–51.
3. Заплетохин А.В. Конструирование деталей механических устройств. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990. – 669 с.
4. Герман–Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

Заморуев Георгий Борисович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, georgyz09@gmail.com

Калапышина Ирина Ивановна

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, weir521@yandex.ru

УДК 519.254:541.6:532.6

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПИСАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ ПОРИСТОЙ АКРИЛОВОЙ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ

Г.Н. Лукьянов, М.В. Успенская

Исследуется процесс сорбции водных растворов акриловыми полимерными пленками и его количественное описание, для которого динамика набухания полученных гидрогелей описывается на основе определения по изображениям показателей Херста и фрактальной размерности на разных стадиях набухания. Свободной радикальной полимеризацией в водной среде были синтезированы гидрофильные сополимеры – гидрогели на основе акриловой кислоты и сшивающего агента, N,N'-метиленабисакриламида, в виде тонких пористых пленок. С помощью эллипсометрии на основе динамики изменения показателей Херста была исследована сорбция молекул растворителя, сшитого акриловым сополимером.

Ключевые слова: показатель Херста, поверхности, фрактал, полимер, гидрогели, набухание, поры.

Введение

В последние годы проявляется все больший интерес к так называемым «умным» полимерным материалам – гидрогелям. Гидрогели представляют собой гидрофильные сополимеры со слабо сшитыми цепями, поэтому они являются хорошо насыщаемыми материалами. Гидрогели могут сорбировать огромное количество воды, увеличивая в сотни, а иногда и в тысячи раз свой первоначальный объем, и сохранять ее в течение длительного времени, поэтому эти материалы называются супервлагоабсорбентами [1–3].

Наиболее интересным и широко изучаемым классом гидрогелей являются акриловые супервлагоабсорбенты, поскольку они могут поглощать различные водные растворы и биологические жидкости, а также имеют невысокую стоимость. В связи с их уникальными свойствами гидрогели на основе акриловых производных нашли применение в целом ряде важных приложений. Акриловые супервлагоабсорбенты используют в качестве флокулянтов, катализаторов, химических сенсоров, иммобилизаторов различных веществ, клея, функциональных полимеров для адсорбции и разделения ионов поливалентных металлов из жидкой фазы («ловушки» для тяжелых металлов), доставки лекарственных средств и т.д. Именно поэтому кинетика набухания акриловых гидрогелей в воде и водных растворах на сегодняшний день является одним из актуальнейших вопросов при изучении супервлагоабсорбентов.

Акриловые полимерные сетки – макропористые системы. Когда акриловый гидрогель погружается в дистиллированную воду, молекулы растворителя проникают в полимерную сетку. Вода, находящаяся в набухом гидрогеле, представлена двумя видами: «связанной» (однородная смесь с полимерными цепями) и «свободной» (водные домены со свойствами чистой воды).

В процессе набухания структура полимерных акриловых пленок меняется. Полимерные сетки во время процесса сорбции молекул растворителя расширяются и увеличиваются в объеме, так как поры являются открытыми.

На сегодняшний день используются различные методы для определения количества и свойств жидкостей в микро- и наноразмерных полостях. Интересной представляется возможность сравнения заполненных жидкостью полостей из различного вида материалов. Представленная работа демонстрирует количественное описание динамики процесса набухания, что позволяет сделать такое сравнение. В его основе лежит гипотеза о самоподобии – по-видимому, одном из самых фундаментальных свойств материи. На этом основании изменения поверхности акриловых полимерных пленок в процессе набухания (сорбции молекул растворителя – воды) могут быть описаны при следующих допущениях:

1. поверхности рассматриваются как фрактальные;
2. поверхности в процессе набухания развиваются как динамические системы на основе законов самоподобия и масштабной инвариантности.

Аналогичные проблемы решены ранее, например, для тонких металлических пленок [4], в частности, в работе о неравновесном поведении наноразмерных металлических пленок [5].

Описание эксперимента

Пористые пленки полиэлектролитного гидрогеля были получены свободно-радикальной сополимеризацией, частично нейтрализованной акриловой кислотой ($[AK] = 30\% \text{ мас.}$) и N, N'-метиленабисакриламида ($[МБАА] = 0,3\% \text{ мас. к АК}$) в присутствии иницирующей системы, состоящей из персульфата аммония – N, N', N'-тетраметилэтилендиамина [ПСА – ТМЕД] в водном растворе при температуре 25°C. Степень нейтрализации акриловой кислоты составляла $\alpha = 0,9$. Время набухания составляло 1, 5, 10 и 15

мин, затем, полученные полимерные пленки высушивались при температуре 50°C в течение 3 ч. Свойства и методы очистки остальных реагентов, а также метод сополимеризации процесса описаны в [6].

В ходе экспериментов изучались степень набухания, а также скорость набухания акриловых пористых гидрогелей. Равновесная степень набухания измерялась по стандартной гравиметрической методике при $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в дистиллированной воде и рассчитывалась по формуле

$$Q = (m_n - m_c(1-\gamma))/m_c(1-\gamma),$$

где m_n – вес набухшего образца, г; m_c – вес высушенного образца, г; γ – влагосодержание.

В расчетах результаты были усреднены по пяти аналогичным образцам. Изображения тонких полимерных пленок были исследованы с помощью микроскопа. Полученные фотографии сшитых акриловых полимерных пленок в процессе сорбции ими молекул растворителя (воды) были обработаны путем фильтрации исходного изображения и инверсии. Эксперимент осуществлялся в два этапа. На поверхность гидрогелевой пленки наносили небольшое количество растворителя. После полной сорбции полимерной матрицей молекул воды на поверхность повторно добавляли несколько капель растворителя. Через каждые 3 с фиксировали эволюцию поверхности полимерной пленки. Полученные изображения дают полную картину изучаемого объекта.

Для количественного описания эволюции поверхности использовался RS-анализ с расчетом показателей Херста [6]

$$R/S = k n^H,$$

$$R = y_{\max} - y_{\min},$$

где $y_{\max}$ – максимальное значение данных; $y_{\min}$ – минимальное значение данных; n – количество данных; k – шаг данных; S – стандартное отклонение. Показатель Херста для описанных поверхностей определяется по уровню градаций серого оттенка в изображениях.

Фрактальная размерность может быть выражена через показатель Херста по формуле

$$D_f = D - H,$$

где D – размерность вложения. Для двумерного случая $D_f = 2 - H$, в трехмерном случае $D_f = 3 - H$.

Результаты

Как известно [7], физическое и механическое поведение гидрогелей напрямую зависит от плотности сетки и эластичности полимера, который определяет размер ячеек полимерной матрицы.

Макроскопические поры были сформированы за счет присутствия воды в акриловой полимерной сетке во время сополимеризации. В работе [8] показано, что поры коллапсируют во время сушки и открываются при набухании. Наличие пор увеличивает количество воды, поглощенной супервлагоабсорбентами.

В ходе работы были построены кривые набухания пленок акрилового гидрогеля Q , синтезированных в течение различного времени реакции (рис. 1). Во всех случаях акриловые гидрогели показывают схожие картины набухания. Повышение времени полимеризации увеличивает степень набухания. Показано, что со временем набухание выходит на равновесную стадию.

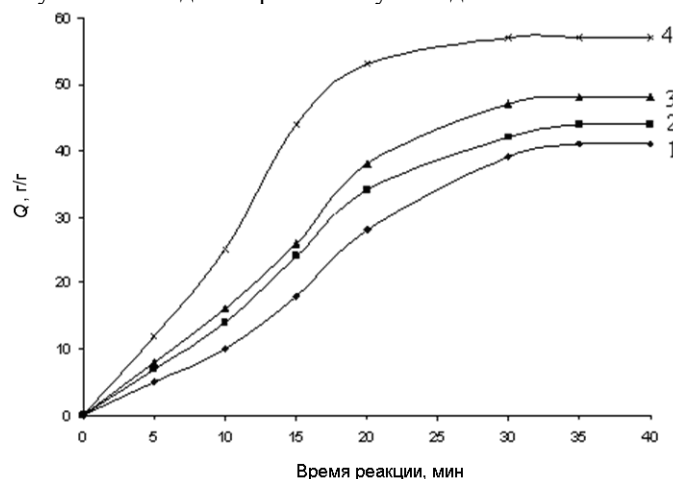


Рис. 1. Кинетические кривые набухания Q пленок акрилового гидрогеля в дистиллированной воде, синтезированных при концентрации МБАА 0,3% мас. и различном времени реакции: кривая 1 – 1 мин; кривая 2 – 5 мин; кривая 3 – 10 мин; кривая 4 – 15 мин

Изображения (рис. 2) поверхности пленок в процессе насыщения полимера водой получены с помощью поляризационного метода. Хорошо видны изменения на поверхности исследуемого материала в зависимости от его насыщенности водой.

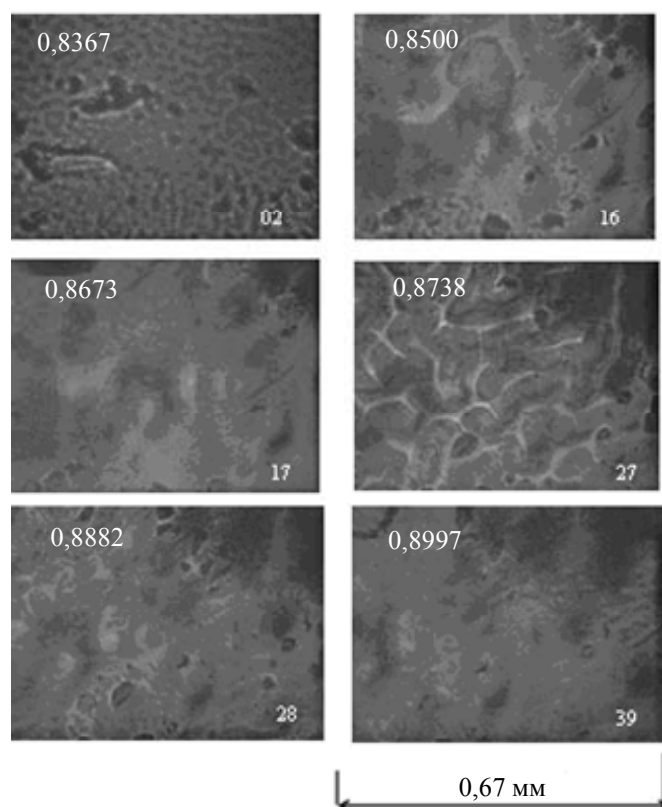


Рис. 2. Пример эволюции полимерной подложки. Числа 0,8367... 0,8997 – показатели Херста (H); числа 02, 16 39 указывают номера экспериментов с разницей во времени между ними 3 с

На рис. 3 показаны временные изменения показателя Херста H при проведении экспериментов по насыщению исследуемого полимерного материала дистиллированной водой. Диффузия молекул воды происходит от внешней к внутренней части полимерной матрицы. Вследствие этого количество растворителя на поверхности полимерных пленок меняется.

Как видно из рис. 2 (снимок 27), одновременно существуют большие (поглощающие растворитель) и малые (начальные) поры. Показатель Херста H (рис. 3) увеличивается в процессе сорбции (насыщения молекулами растворителя полимерной пленки) и уменьшается в процессе установления равновесия.

Экспериментальные данные насыщения акриловых гидрогелевых пленок молекулами растворителя, полученные на втором этапе (повторного добавления растворителя на поверхность исследуемого материала), выглядят аналогично результатам, полученным при первоначальной сорбции.

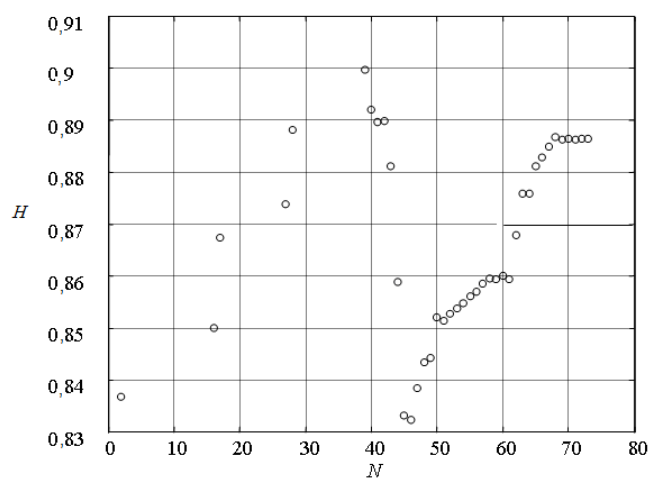


Рис. 3. Изменение показателя Херста H в зависимости от числа экспериментов N с разницей во времени между экспериментами 3 с

Структурная сложность базового полимерного слоя уменьшается по мере его насыщения дистиллированной водой. Фрактальная размерность поверхности колеблется в пределах от 2,17 до 2,10. Показатель Херста растет пропорционально насыщенности водой. Соответственно фрактальная размерность исследуемой поверхности падает. Так как фрактальная размерность поверхности D_f в трехмерном пространстве принимает значения $2 < D_f < 3$, для формирования поверхности акрилового полимера необходимо влиять на три пространственных координаты.

Заключение

Исследована сорбция молекул дистиллированной воды поверхностью макропористых полимерных акриловых пленок, полученными с помощью свободно-радикальной сополимеризации акриловых мономеров в водной среде на основе фрактальной теории. Показано, что в процессе набухания акриловой гидрогелевой пленки фрактальная размерность поверхности снижается с 2,17 до 2,10, а показатель Херста увеличивается.

Литература

1. Liw Z.S., Rempel G.L. Preparation of superabsorbent polymer by crosslinking acrylic acid and acrylamide copolymers // J. Appl. Polym. Sci. – 1997. – V. 64. – № 7. – P. 1345–1353.
2. Morohashi S., Takaoka M., Yamamoto T., Hoshino K. Adsorption properties of metal ions onto sodium polyacrylate gel // J. Chem. Eng. Jap. – 1998. – V. 31. – № 4. – P. 551–557.
3. Johnson B.D., Beebe D.J., Crone W.C. Effects of swelling on the mechanical properties of a pH-sensitive hydrogel for use in microfluidic devices // Materials science and engineering. – 2004. – V. 24 C. – № 4. – P. 575–581.
4. Lukyanov G.N., Margolin V.I., Potsar N.A., Soltovskaya I.A., Fantikov V.S., Serov I.N. An Investigation Into Nano-Dimensional Fractal Film Structures // Proceedings of SPIE. – 2003. – V. 5401. – P. 278–289.
5. Serov I., Anisimov A., Lukyanov G., Margolin V., Soltovskaya I. Nonlinear effects and chaotic nonequilibrium behavior with the thermal effect on the nano-dimensional metallic films // Proceedings on Second International Conference Physics and Control. – August 24–26. – Saint Petersburg, Russia, 2005. – P. 778–780.
6. Peitgen Heinz-Otto: Bausteine des Chaos: Fraktale. – Berlin; Heidelberg; New York: Springer; Stuttgart: Klett-Cotta, 1992. – 514 p.
7. Igrunova A.V., Sirotinkin N.V., Uspenskaya M.V. // Rus. Journ. of Appl. Chem. – 2001. – V. 74. – № 5. – P. 793–797.
8. Pradas M., Ribelles G., Aroca S., Ferrer G., Anton S., Pissis P. Porous poly (2-hydroxyethyl acrylate) hydrogels // Polymer. – 2001. – № 42. – P. 4667–4674.

Лукьянов Геннадий Николаевич

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой, gen-lukjanow@yandex.ru

Успенская Майя Валерьевна

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой, mv_uspenskaya@mail.ru

УДК 536.24

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СВОБОДНОКОНВЕКТИВНОГО
ТЕПЛООБМЕНА НА ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В ШИРОКОМ
ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

А.Н. Соколов

Представлена методика расчета свободноконвективного теплообмена на твердых поверхностях в диапазоне температур 110–1000 К. Получено аналитическое выражение для расчета числа Рэлея в широком интервале температур. Результаты расчета по приведенному в работе соотношению для числа Рэлея сопоставляются со справочными данными для воздуха. Расхождение результатов расчета со справочными данными не превышает 10%.

Ключевые слова: свободная конвекция, число Рэлея, теплообмен, свойства газов.

Введение

Исследованию свободноконвективного течения газа на твердых поверхностях посвящено большое количество работ. Основная задача при расчете свободноконвективного течения газа на твердой поверхности заключается в определении коэффициента конвективной теплоотдачи, который характеризует интенсивность теплообмена на рассматриваемой поверхности и зависит от таких факторов, как температура, определяющий размер, свойства газа и т.д. Коэффициент конвективной теплоотдачи обычно находится из аналитических или эмпирических соотношений для числа Нуссельта, в которые входят физические свойства газов. Физические свойства газа зависят от температуры и находятся из справочных данных для заданной определяющей температуры.

Целью данной работы является разработка методики расчета свободноконвективного теплообмена на твердых поверхностях в широком интервале температур. Данная методика позволяет определять число Нуссельта по известным в литературе корреляционным соотношениям на основе предложенного соотношения для числа Рэлея, в которое теплофизические свойства газа не входят.

Постановка задачи

При расчете свободноконвективного теплообмена часто возникает задача определения режима течения воздуха, который характеризуется числом Рэлея. Для нахождения числа Рэлея выбирают теплофизические свойства из справочной литературы для заданной определяющей температуры. Теплофизические свойства газов при атмосферном давлении достаточно хорошо изучены, зависят только от температуры и приведены в литературе [1, 2].

Согласно теории подобия, свободноконвективный теплообмен описывается зависимостью вида [3]

$$Nu = f(Ra),$$

где $Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}$ – число Нуссельта; α – коэффициент теплоотдачи; L – определяющий размер; λ – коэф-

фициент теплопроводности; $Ra = Gr Pr$ – число Рэлея; $Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$ – число Грасгофа; $Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{c_p \mu}{\lambda}$ –

число Прандтля; g – ускорение свободного падения; $\beta = \frac{1}{T}$ – коэффициент теплового расширения газа;

ΔT – перепад температуры; c_p – теплоемкость газа при постоянном давлении; ν – кинематическая вяз-

кость газа; μ – динамическая вязкость газа; $a = \frac{\lambda}{c_p \rho}$ – температуропроводность; T – определяющая

температура.

Данная функциональная зависимость определяется параметрами течения газа и формой тела, около которого происходит конвективное течение газа. В литературе существует достаточно большое количество аналитических и эмпирических соотношений для расчета конвективной теплоотдачи [3–11]. В качестве примера выберем наиболее известные случаи. При ламинарном и развитом турбулентном течении газа вдоль вертикальной пластины, зависимость для среднего числа Нуссельта имеет вид [4]

$$Nu = \begin{cases} 0,76(Ra)^{0,25}, & 10^3 \leq Ra < 10^9; \\ 0,15(Ra)^{0,33}, & Ra > 10^9. \end{cases} \quad (1)$$

При свободной конвекции в вертикальной прослойке для ламинарного и турбулентного течения газа зависимость для среднего числа Нуссельта имеет вид [4]

$$Nu = \begin{cases} 0,105(Ra)^{0,3}, & 10^3 \leq Ra < 10^6; \\ 0,4(Ra)^{0,2}, & 10^6 \leq Ra < 10^{10}. \end{cases} \quad (2)$$

Число Рэлея, входящее в выражения (1)–(2), зависит от свойств газа, которые для заданной определяющей температуры находятся из справочной литературы [1, 2, 5, 11].

Влияние теплофизических свойств газа на интенсивность теплообмена возле твердой поверхности исследовалось в [5–10]. Так, в [6, 7] рассмотрено влияние зависимости теплофизических свойств одноатомного и многоатомного газа от абсолютной температуры на теплообмен около вертикальной пластины. Авторами работы предполагалось, что теплопроводность, удельная теплоемкость и вязкость зависят от температуры по степенному закону, а число Прандтля постоянно. В [8] численно исследован теплообмен в вертикальном канале при неравномерном нагреве с учетом зависимости теплофизических свойств воздуха от температуры. В [9] представлен анализ влияния зависимости теплопроводности и вязкости воздуха от температуры на теплообмен около вертикальной пластины. Авторами работы [10] исследована свободная конвекция в квадратной полости с учетом зависимости теплопроводности и динамической вязкости от температуры.

Во всех приведенных выше работах была рассмотрена система дифференциальных уравнений в частных производных, основанных на законах сохранения энергии, импульса и массы. В результате различного типа математических преобразований данная система уравнений преобразовывалась к удобному виду и решалась численно. В итоге для каждого конкретного случая находилась зависимость числа Нуссельта от определяющих параметров.

В число Рэлея входит комплекс физических свойств, который зависит от температуры. В литературе, за исключением [11], в котором приведен комплекс $Gr / (L^3 \Delta T)$ в табличном виде, не было найдено ни одной работы, в которой исследовалась зависимость числа Рэлея от температуры. Предполагая, что рассматриваемый газ является идеальным, найдем зависимость числа Рэлея от температуры.

Соотношение для числа Рэлея

Число Рэлея представляется в виде [3]

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2} Pr. \quad (3)$$

На основе определения числа Прандтля и коэффициента теплового расширения преобразуем соотношение (3) к виду

$$Ra = g \frac{\Delta T}{T} L^3 \frac{c_p \rho^2}{\lambda \mu}. \quad (4)$$

Как видно из формулы (4), число Рэлея зависит от ускорения свободного падения g , температурного фактора $\frac{\Delta T}{T}$, определяющего размера L , комплекса физических свойств.

Для дальнейшего анализа преобразуем соотношение (4):

$$f_1(T) = \frac{Ra}{\Delta TL^3} = g \frac{1}{T} \frac{c_p \rho^2}{\lambda \mu}. \quad (5)$$

С другой стороны, число Рэлея можно выразить, используя соотношения из молекулярно-кинетической теории и теории теплообмена.

В молекулярно-кинетической теории коэффициент теплопроводности и динамическая вязкость соответственно выражаются формулами [12, 13]:

$$\lambda = f_e \mu c_v, \quad (6)$$

$$\mu = 0,5 v_{ap} \Lambda \rho, \quad (7)$$

где $f_e = \frac{9\gamma - 5}{4}$ – коэффициент Эйкена; c_v – теплоемкость газа при постоянном объеме; v_{ap} – средняя арифметическая скорость движения молекул газа; Λ – средняя длина свободного пробега молекул газа; $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ – показатель адиабаты.

Среднеарифметическая скорость и средняя длина свободного пробега молекул газа определяются соотношениями (8), (9) соответственно, приведенными в литературе [12]:

$$v_{ap} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}, \quad (8)$$

$$\Lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 p \left(1 + \frac{C_s}{T}\right)}, \quad (9)$$

где k – постоянная Больцмана; m – масса молекулы газа; σ – эффективный диаметр молекулы газа; C_s – постоянная Сазерленда; p – нормальное атмосферное давление.

Подставляя выражения (6)–(9) в соотношение (4), путем простых преобразований получим:

$$Ra = \frac{g\gamma\pi^3 m\sigma^4}{f_e k^3} \frac{\Delta T \left(1 + \frac{C_s}{T}\right)^2}{T^4} L^3 p^2.$$

Обозначим

$$\Omega_p = \frac{g\pi^3}{k^3} \frac{\gamma m\sigma^4}{f_e} p^2. \quad (10)$$

Окончательное выражение для числа Рэлея имеет вид

$$Ra = \Omega_p \frac{\Delta T \left(1 + \frac{C_s}{T}\right)^2}{T^4} L^3. \quad (11)$$

Из формулы (11) видно, что число Рэлея зависит от перепада температуры, определяющей температуры и размера. Данное соотношение можно использовать для различных газов. Свойства и параметры, входящие в выражение (10), для некоторых газов приведены в таблице.

Газ	$m \cdot 10^{26}$, кг	$\sigma \cdot 10^{10}$, м	γ	C_s , К	f_e	$\Omega_p \cdot 10^{-17}$, К ³ /м ³
Воздух	4,81	3,13	1,4	112	1,9	4,04
Неон	3,35	2,25	1,67	61	2,51	0,68
Аргон	6,63	3,00	1,67	142	2,51	4,20

Таблица. Параметры некоторых газов

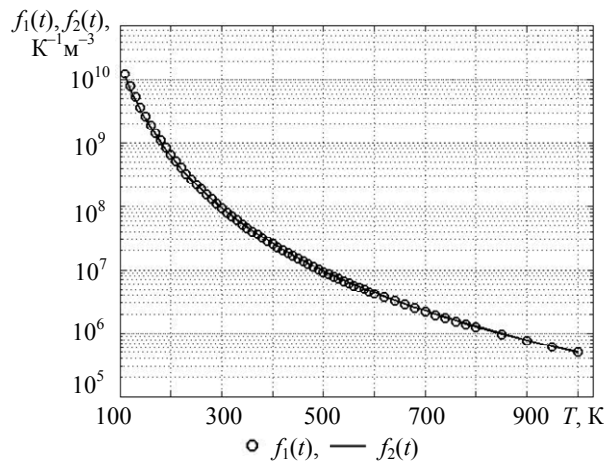


Рис. 1. Зависимость $f_1(T)$ и $f_2(T)$ от температуры

Для сравнения соотношений (11) и (3) представим выражение (11) в виде, аналогичном (5):

$$f_2(T) = \frac{Ra}{\Delta T L^3} = \Omega_p \frac{\left(1 + \frac{C_s}{T}\right)^2}{T^4}. \quad (12)$$

Для сравнения соотношений (5) и (12) в качестве газа выберем воздух. График функций $f_1(T)$ и $f_2(T)$ в интервале температур 110–1000 К представлен на рис. 1. Зависимость погрешности

$$\delta = \frac{f_1(T) - f_2(T)}{f_1(T)} 100\% \text{ от температуры показана на рис. 2.}$$

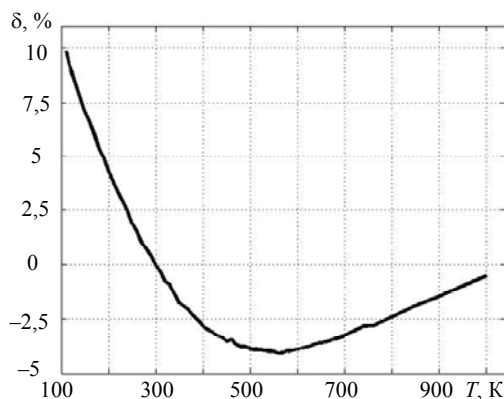


Рис. 2. Зависимость погрешности δ от температуры

Анализ результатов

Как видно из полученных графиков, в интервале температур 110–1000 К соотношение (12) достаточно хорошо описывает справочные данные, погрешность при этом не превышает 10%. В интервале температур 170–1000 К погрешность не превышает 6%. В соотношение (10) входит показатель адиабаты, который для реального газа зависит от температуры. В том случае, если в качестве газа выступает воздух, отличие показателя адиабаты от значения для идеального газа в рассматриваемом интервале температур не превышает 3%. В большинстве эмпирических и аналитических выражений для числа Нуссельта, в том числе в выражениях (1) и (2), число Рэлея входит в степени $n < 1$. В связи с этим отличие между числами Нуссельта, рассчитанными по точному и приближенному соотношению для числа Рэлея, будет меньше, чем расхождение между числами Рэлея. Погрешность между точным и приближенным значениями для числа Нуссельта можно найти из выражения $\Delta = [1 - (1 - \delta)^n] 100\%$. Так, для воздуха при развитии турбулентном течении вдоль вертикальной пластины и погрешности $\delta = 10\%$ различие между числами Нуссельта составит $\Delta = 3,5\%$.

Заключение

В работе представлено простое аналитическое выражение (11) для расчета числа Рэлея в зависимости от определяющей температуры, которое значительно упрощает вычисление числа Нуссельта по формулам (1), (2). Расхождение результатов при сравнении полученного аналитического выражения со справочными данными для воздуха в интервале температур 110–1000 К не превышает 10%.

Литература

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
2. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
3. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 424 с.
5. Гебхарт Б., Джалурия Й., Махаджан Р. Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен: В 2-х кн. Кн. 1. – М.: Мир, 1991. – 678 с.
6. Shang D-Y., Wang B-X. Effect of variable thermophysical properties laminar free convection of gas // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1990. – V. 33. – № 7. – P. 1387–1395.
7. Shang D-Y., Wang B-X. Effect of variable thermophysical properties laminar free convection of polyatomic gas // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1991. – V. 34. – № 3. – P. 749–755.
8. Hernandez J., Zamora B. Effects of variable properties and non-uniform heating on natural convection flows in vertical channels // Int. J. Heat Mass Transfer. – 2005. – V. 48. – P. 793–807.
9. Pozzi A., Lupo M. Variable-property effects in free convection // Int. J. Heat and Fluid Flow. – 1990. – V. 11. – № 2. – P. 135–141.
10. Emery A.F., Lee J.W. The effects of property variations on natural convection in a square enclosure // J. Heat Transfer. – 1999. – V. 121. – № 1. – P. 57–62.
11. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.
12. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. – М.: Высшая школа, 1990. – 320 с.
13. Каганер М.Г. Тепловая изоляция в технике низких температур. – М.: Машиностроение, 1966. – 275 с.

Соколов Антон Николаевич – Филиал ФГУП «ЦНИИ «Комета «НПЦ ОЭЖН», инженер, dioux@rambler.ru

УДК 34.03:004.056.5

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Ю.А. Гатчин, И.О. Жаринов, А.Г. Коробейников

Рассматриваются математические основы проектирования инфраструктуры системы защиты информации на предприятиях. Приводятся математические модели минимизации затрат на построение инфраструктуры системы защиты информации и максимизации уровня защищенности информационных активов предприятия, а также результаты их практического использования.

Ключевые слова: защита информации, математические модели.

Введение

Современные промышленные предприятия осуществляют выпуск сложной продукции, интеллектуальной составляющей которой является новое научно-техническое знание (ноу-хау), подлежащее информационной защите. Помимо ноу-хау, защита на предприятиях должна осуществляться в отношении коммерческой, банковской, медицинской, государственной и других видов информации (бизнес-операций) в зависимости от сферы деятельности конкретного предприятия.

Модели, методы и средства защиты информации (ЗИ), используемые на предприятиях, различны и, как правило, выбираются в результате решения одной из задач вида $\langle S \rightarrow \min, R \geq R_{\text{доп}} \rangle$ или $\langle R \rightarrow \max, S \leq S_{\text{доп}} \rangle$, где S – затраты на разработку, внедрение и сопровождение системы ЗИ на предприятии; R – уровень защиты, обеспечиваемый выбранным вариантом системы ЗИ; $S_{\text{доп}}$ – допустимая стоимость системы ЗИ на предприятии; $R_{\text{доп}}$ – допустимый уровень качества системы ЗИ в целом. Обе задачи математически эквивалентны и могут быть решены методами многокритериальной оптимизации. Традиционно в задачах многокритериальной оптимизации используется подход [1] на основе формирования множества Парето-оптимальных проектных решений по построению системы ЗИ, который, к сожалению, имеет ограниченное практическое применение, обусловленное значительной размерностью получаемого множества недоминирующих решений и неразрешенностью компромисса при допустимых значениях параметров $\{S, R\}$. Для решения задачи проектирования инфраструктуры системы ЗИ предлагается использовать метод последовательных уступок [2], в котором выделяется ряд частных показателей качества ЗИ, имеющих превосходство над остальными показателями, переводимыми в разряд ограничений.

Модель минимизации затрат на построение инфраструктуры ЗИ

Пусть $x_{ij} = 1$, если i -е средство ЗИ разработчик выбирает для защиты j -го информационного актива предприятия, и $x_{ij} = 0$ – в противном случае (при этом допускается, что i -е средство используется для защиты от i -ой угрозы). Требуется минимизировать затраты вида

$$S = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} S_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} S_i y_i \rightarrow \min$$

при соблюдении следующих граничных условий:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_j r_{ij} x_{ij} \geq R_{\text{ат}}, \sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \forall j \in J, \sum_{j \in J} a_j = 1, x_{ij} \in \{0; 1\}, y_i \in \{0; 1\},$$

где S_{ij} – затраты на защиту j -го информационного актива i -м средством; S_i – затраты, общие для всех информационных активов, на защиту i -м средством; I – множество средств ЗИ на предприятии; J – множество защищаемых информационных активов; r_{ij} – оценка качества защиты i -м средством j -го информационного актива (частный коэффициент защищенности, показывающий, какая часть атак угрозы i -го вида отражается); a_j – весовой коэффициент j -го информационного актива в общей оценке качества ЗИ; y_i – булева переменная, принимающая значение «1», если i -е средство ЗИ может быть использовано в системе защиты, и «0» в противном случае, причем i -е средство защиты в системе может быть использовано только один раз.

Модель максимизации уровня защищенности информационных активов предприятия

Модель максимизации уровня защищенности описывает двойственную задачу по отношению к модели минимизации затрат. В этом случае ограничение на уровень качества ЗИ становится критерием, а

критерий – ограничением:

$$R = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_j r_{ij} x_{ij} \rightarrow \max.$$

Таким образом, в данной модели требуется максимизировать уровень R качества ЗИ при соблюдении следующих граничных условий:

$$S = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} S_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} S_i y_i \leq S_{\text{доп}}, \quad \sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \forall j \in J, \quad x_{ij} \in \{0; 1\}, \quad y_i \in \{0; 1\}.$$

При построении оценки интегрального уровня R защищенности информации на предприятии принята единая схема расчета коэффициентов защищенности отдельных бизнес-процессов $R_{б-п}$ предприятия:

$$R_{б-п} = 1 - \frac{\sum_{b \in B} p_b \sum_{i \in N_b} \lambda_{ib} t_b (1 - r_i)}{\sum_{b \in B} p_b \sum_{i \in N_b} \lambda_{ib} t_b},$$

где N_b – количество наиболее вероятных информационных угроз для b -ой бизнес-операции на предприятии; r_i – коэффициент защищенности от i -ой угрозы; λ_{ib} – интенсивность потока атак i -го вида угроз на b -ую бизнес-операцию ($i \in N_b$), для $i \notin N_b$, $\lambda_{ib} = 0$; t_b – время выполнения b -ой бизнес-операции; B – количество бизнес-операций в бизнес-процессе предприятия; p_b – вероятность выполнения бизнес-операции b в общем бизнес-процессе.

Сравнение вариантов построения структур систем ЗИ на предприятиях

Сравнение вариантов построения структур систем ЗИ на предприятиях основано на анализе многопараметрического критерия, зависящего от ряда частных показателей качества работы системы ЗИ.

Как следует из исходной задачи оптимизации $\langle S \rightarrow \min, R \geq R_{\text{доп}} \rangle$ или $\langle R \rightarrow \max, S \leq S_{\text{доп}} \rangle$, основанием для вывода об абсолютном превосходстве одних показателей над другими служит степень различия отдельных показателей по важности, при которой сравнение оценок вариантов построения системы ЗИ осуществляется только по самому важному показателю без учета остальных, затем только по второму показателю и т.д. В общем виде задача оптимизации эквивалентна задаче нахождения условного экстремума основного критерия:

$$\begin{aligned} F_1 &= \arg \left\{ \min_j \left\{ \xi_1^j \mid \min \{ \xi_1^j \} \leq \xi_1^j \leq \max \{ \xi_1^j \}, i = 1, 2, \dots, \zeta \right\} \right\}, \\ F_2 &= \arg \left\{ \min_j \left\{ \xi_2^j \mid \min \{ \xi_2^j \} \leq \xi_2^j \leq \max \{ \xi_2^j \}, i = 1, 2, \dots, \zeta \right\} \right\}, \\ &\vdots \\ F_\zeta &= \arg \left\{ \min_j \left\{ \xi_\zeta^j \mid \min \{ \xi_\zeta^j \} \leq \xi_\zeta^j \leq \max \{ \xi_\zeta^j \}, i = 1, 2, \dots, \zeta \right\} \right\}, \end{aligned}$$

где $\{ \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\zeta \}$ – частные показатели качества системы ЗИ; N – общее число вариантов проектных решений по выбору системы ЗИ.

Информация об абсолютном превосходстве определенных показателей позволяет проранжировать возможные варианты $F_1^{\text{lex}} > F_2^{\text{lex}} > \dots > F_\zeta^{\text{lex}}$ с использованием процедуры лексикографической оценки. Реализация этой процедуры предусматривает декомпозицию исходной многомерной задачи оценки методом последовательных уступок в определенную последовательность задач (стратегию) оценки по иерархически упорядоченным скалярным показателям $\{ \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\zeta \}$.

Таким образом, предполагается, что первый показатель ξ_1 важнее второго ξ_2 , второй ξ_2 – третьего ξ_3 , и т.д. до ξ_ζ , так что $G_F \supseteq F_1 \supseteq F_2 \supseteq \dots \supseteq F_\zeta$, при условии $F_\zeta \neq \emptyset$, т.е. каждый последующий частный показатель сужает множество G_F проектных решений, получаемых с помощью всех предыдущих показателей. Это означает, что если в исходной задаче оптимизации с одним скалярным показателем имеется несколько решений и для дальнейшего выбора последовательно применяются дополнительные показатели, то получаемые в результате стратегии решения будут оптимальными для соответствующей лексикографической задачи с векторным показателем, состоящим из всех этих поочередно рассматриваемых показателей. Очевидно, для принятой модели минимизации затрат решающее правило по выбору конкретного варианта структуры системы ЗИ имеет вид

$$\hat{i} = \arg \min_i \{ S_i \mid R_i \geq R_{\text{доп}} \}.$$

Аналогично в модели максимизации уровня защищенности решающее правило по выбору конкретного варианта структуры системы ЗИ имеет вид

$$\hat{i} = \arg \max_i \{R_i | S_i \leq S_{\text{доп}}\}.$$

Оценка значения величины $S_{\text{доп}}$ не вызывает затруднений и определяется финансовой состоятельностью предприятия и рисками (ущербом) от реализации атак на инфраструктуру ЗИ. Оценка значения уровня $R_{\text{доп}}$ может быть определена из шкалы предпочтений, представленной в табл. 1.

Значение показателя $R_{\text{доп}}$, усл. ед.	Характеристика состояния системы информационной безопасности предприятия
Менее 0,50 <i>Слабая защита</i>	Блокируется незначительная часть атак. Потери очень значительны. Фирма за короткий период (до года) теряет положение на рынке. Для восстановления положения требуются крупные финансовые займы
0,51–0,75 <i>Средняя защита</i>	Неотраженные информационные атаки приводят к значительным потерям положения фирмы на рынке и в прибыли. Фирма теряет существенную часть клиентов
0,76–0,87 <i>Повышенная защита</i>	Блокируется значительная часть атак. Финансовые операции не ведутся в течение некоторого времени, за это время фирма терпит убытки, но ее положение на рынке и количество клиентов изменяются незначительно
0,88–0,95 <i>Сильная защита</i>	Ущерб от реализации информационных атак не затрагивает положение фирмы на рынке и не приводит к нарушению финансовых операций
0,96–0,98 <i>Очень сильная защита</i>	Раскрытие информации и реализация информационной атаки принесут ничтожный экономический ущерб фирме
0,99–0,99999... <i>Особая защита</i>	Отражаются практически все информационные атаки, ущерб фирме минимален или отсутствует

Таблица 1. Классификация значений комплексного показателя информационной защищенности

Экспериментальная проверка моделей построения инфраструктуры системы ЗИ

Для апробации на практике моделей построения инфраструктуры системы ЗИ была проведена серия экспериментов. Анализировались различные варианты проектных решений по выбору системы ЗИ, представленные в табл. 2.

Вариант системы ЗИ	Состав системы ЗИ	Значение показателя S , усл. ед.	Значение показателя R , усл. ед.
1	Видеокамеры слежения	87	0,73
	Датчики разбития стекла		
	Охрана		
2	Firewall глобальной сети	121	0,71
	Электромагнитная защита		
	Смарт-карты разграничения доступа по помещениям		
	Охрана		

Таблица 2. Варианты систем ЗИ на предприятии

Как следует из табл. 2, построение системы ЗИ по варианту 1 оказывается удовлетворительным на основе модели минимизации затрат на построение инфраструктуры системы ЗИ при условии $0,51 \leq R \leq 0,75$ (средняя защита). Вариант 2 в этом случае оказывается также удовлетворительным по критерию $0,51 \leq R \leq 0,75$, однако является экономически более затратным. Не трудно видеть, что при использовании модели максимизации уровня защищенности предпочтительным является также вариант 1 построения системы ЗИ. Перспективно объединение составов обоих вариантов систем защиты информации.

Заключение

Предлагаемая методика и математические модели расчета показателей качества работы системы защиты информации на предприятии позволяют для произвольно выбранного числа компонентов и сложности структуры системы защиты информации осуществлять оценку эффективности ее использования для парирования информационных угроз.

Модели учитывают вероятностную природу угроз и систему бинарных правил специализации каждого средства защиты для соответствующего вида угрозы. Табулированная шкала предпочтений по уровню показателя защищенности предприятия позволяет оценивать приемлемое для конкретного предприятия качество защиты.

Проблема выбора при многопараметрическом критерии разрешена методом лексикографической оценки для основного критерия и системой ограничений для второстепенных. Варианты проектных решений по выбору системы защиты информации могут быть ранжированы в кортеж по предпочтениям от наиболее предпочтительного до наименее предпочтительного, но приемлемого.

Литература

1. Ногин В.Д. Проблема сужения множества Парето: подходы к решению // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – № 1. – С. 98–112.
2. Тронилов И.Б. Методы оценки информационной безопасности предприятия на основе процессного подхода: дисс. канд. техн. наук ... по спец. 05.13.19. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 134 с.

Гатчин Юрий Арменакович

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, gatchin@ifmo.ru

Жаринов Игорь Олегович

– ФГУП «СПб ОКБ «Электоавтоматика» имени П. А. Ефимова», доктор технических наук, доцент, начальник отдела, igor_rabota@pisem.net

Коробейников Анатолий Григорьевич

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, korobeynikov_a_g@mail.ru

УДК 004.056

ПОИСК ВРЕДНОСНЫХ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ

И.А. Зикратов, Р.С. Василенко

Публикуется в порядке дискуссии

Определены основные проблемы традиционных методов обнаружения вредоносного программного обеспечения, основанных на обновлении антивирусных баз. Рассмотрены альтернативные методы, основанные на облачных вычислениях. Предложен новый метод обнаружения на основе анализа процесса распространения неизвестного программного обеспечения.

Ключевые слова: вредоносные программы, процесс распространения, репутационные сервисы.

Введение

Из отчетов ведущих антивирусных компаний за 2010–2011 г.г. [1–4] следует, что, помимо увеличения общего количества вредоносных программ, постоянно увеличиваются темпы появления нового вредоносного программного обеспечения (ПО). Практически все существующие технологии антивирусных продуктов, так или иначе, используют антивирусные базы на стороне пользователя, отсюда возникает проблема своевременного выпуска обновлений пользователям. Деятельность антивирусных компаний по выпуску обновлений антивирусных баз можно условно разделить на следующие этапы [5]:

- поступление образца в антивирусную лабораторию;
- анализ образца (ручной или, что чаще, автоматический);
- создание обнаруживающей записи (эвристической или по бинарным маскам);
- тестирование записи;
- выпуск баз обновлений.

Алгоритмы, используемые антивирусными компаниями для решения данной задачи, являются закрытыми и, вероятно, разными для каждой компании, однако есть один общий факт – каждый этап занимает определенное время. В среднем с момента попадания образца в антивирусную лабораторию до выхода обновления проходит время t , которое обычно не меньше двух часов. С начала распространения вредоносной программы до момента ее обнаружения проходит от 5 до 98 часов [5, 6].

Обладая данной информацией, создатели вредоносных программ оптимизируют свои алгоритмы выпуска вредоносных программ таким образом, чтобы максимально понизить эффективность выпущенных обновлений. В худшем случае это приводит к тому, что выпущенная антивирусной компанией обнаруживающая запись оказывается бесполезной, так как вредоносный образец, который она обнаруживает, уже прекратил свое существование.

Еще одной серьезной проблемой существующих методов обнаружения является требование наличия вредоносного файла в антивирусной лаборатории. Таким образом, с увеличением количества вредоносных программ антивирусным компаниям приходится обрабатывать все большие объемы файлов. По этой причине увеличивается вероятность как пропуска вредоносных объектов (в таком случае с большой вероятностью они вообще никогда не будут обнаружены), так и появления ложных срабатываний.

По оценкам Лаборатории Касперского, в 2010 г. было выявлено около 13 млн новых вредоносных программ. Если взять средний размер вредоносной программы порядка 1 МБ, то получится, что за 2010 г. лабораторией было обработано не менее 13 ТБ только вредоносных программ. При этом весь обработанный поток может быть в сотни раз больше. Своевременно скачать и обработать такой объем информации – серьезная проблема.

Описанные выше проблемы обуславливают необходимость разработки и реализации такого алгоритма обнаружения, который позволит сократить время каждого этапа. При этом целесообразно уменьшить зависимость эффективности алгоритма от обновлений антивирусных баз на стороне пользователя.

Целью данной работы является разработка нового метода обнаружения вредоносного ПО без использования антивирусных баз, основанного на анализе процесса распространения неизвестного ПО.

Репутационные сервисы

Стоит заметить, что с распространением широкополосного интернета, а также с увеличением количества пользователей антивирусных продуктов появляются новые возможности по сбору и анализу информации о появлении новых вредоносных программ, которые заключаются в том, что антивирусные компании получили возможность постоянно получать данные от пользователей, находящихся онлайн.

Предполагается, что эти изменения могут позволить разработать новый класс алгоритмов антивирусной защиты, основанных на анализе собираемой в реальном времени информации с машин пользователей. При этом принятие решений будет осуществляться на стороне серверов антивирусной компании, и за приемлемое время попадать к пользователям по сети.

Таким образом, можно сказать, что задача разработки класса гибких и адаптивных алгоритмов обнаружения новых вредоносных программ, не зависящих от процесса обновления антивирусных баз на стороне пользователя, является актуальной.

В работах [7–10] описаны некоторые подходы к решению сформулированной задачи. Основная идея, представленная в источниках, заключается в том, что, получая потоки статистических данных, а также метаданных [11] по данному объекту, они сопоставляют их имеющемуся набору логических правил отнесения объекта к чистому или вредоносному. Если правила срабатывают и при этом не противоречат друг другу, объект относится к одному из типов. Таким образом, в данных системах анализируются лишь количественные показатели, актуальные в определенный момент времени.

Процессы распространения программного обеспечения

Предлагаемый в работе подход отличается от известных учетом не только количественных показателей процесса распространения, но и использованием обоснованных качественных показателей этого процесса. Сутью разрабатываемого авторами подхода является предположение о том, что способы распространения вредоносных и легальных программ отличаются друг от друга. В отличие от легальных программ, которые пользователь скачивает «по собственному желанию», для распространения вредоносных программ их создателям приходится прибегать к множеству различных методов: эксплуатация уязвимостей, спам с вредоносными ссылками, социальная инженерия, против которых постоянно ведется противодействие со сторон антивирусных компаний, провайдеров и т.д. Это отражается на таких параметрах системы, как относительная скорость распространения (производная от функции распространения), а также скорость изменения относительной скорости распространения – «ускорение» (вторая производная от функции распространения).

Для проверки обоснованности этого предположения следует выполнить:

- выбор модели процесса распространения чистого и вредоносного ПО;
- определение параметров модели, т.е. выбор пространства признаков, описывающих процессы распространения;
- сбор информации, составление репрезентативной выборки распространения чистых и вредоносных программ;
- проведение экспериментов;
- анализ результатов и выбор наилучшего решения.

В качестве модели предполагается использовать функцию, описывающую процесс распространения чистого и вредоносного ПО во времени. Параметрами (пространством признаков) этой функции являются количество запусков и скачиваний ПО, а также количество уникальных пользователей.

Появление широкополосного Интернета у большинства пользователей антивирусных программ позволяют получать такие данные практически в реальном времени от всех пользователей сразу. Таким

образом, появляется возможность отслеживать возникновение, а также распространение новых неизвестных программ. В процессе распространения программы меняются и выбранные признаки. Предполагается, что на основе анализа характера и частоты изменений признаков, и сравнения полученных данных с базой данных процессов распространения известных программ можно отнести исследуемые образцы ПО к тому или иному типу. В отличие от всех существующих методов, в предложенном авторами подходе предлагается использовать не количественные показатели на какой-то определенный момент времени, а качественные изменения показателей во времени.

На рис. 1, 2 представлены полученные экспериментально зависимости параметров распространения вредоносного и чистого ПО от времени. Эксперимент проводился на статистических данных, полученных от пользователей Лаборатории Касперского. В ходе эксперимента отслеживались параметры функций распространения неизвестного ПО (количество запусков). Объекты, которые впоследствии признавались антивирусом вредоносными, попадали в группу вредоносного ПО. Объекты, признанные в итоге чистыми, попадали в группу чистого ПО. После этого анализировались характеристики функции распространения для той и другой группы. На рисунках приведены самые характерные функции распространения для чистого и вредоносного ПО.

Из вредоносных программ были взяты:

- Trojan-Ransom.Win32.DigiPog;
- Trojan-PSW.Win32.Dybalom;
- Trojan.Win32.VBKrypt;
- Trojan.Win32.Inject.

Из чистых программ:

- Adobe Shockwave Player;
- eRightSoft SUPER setup;
- CDBurnerXP;
- Internet Download Manager installer.

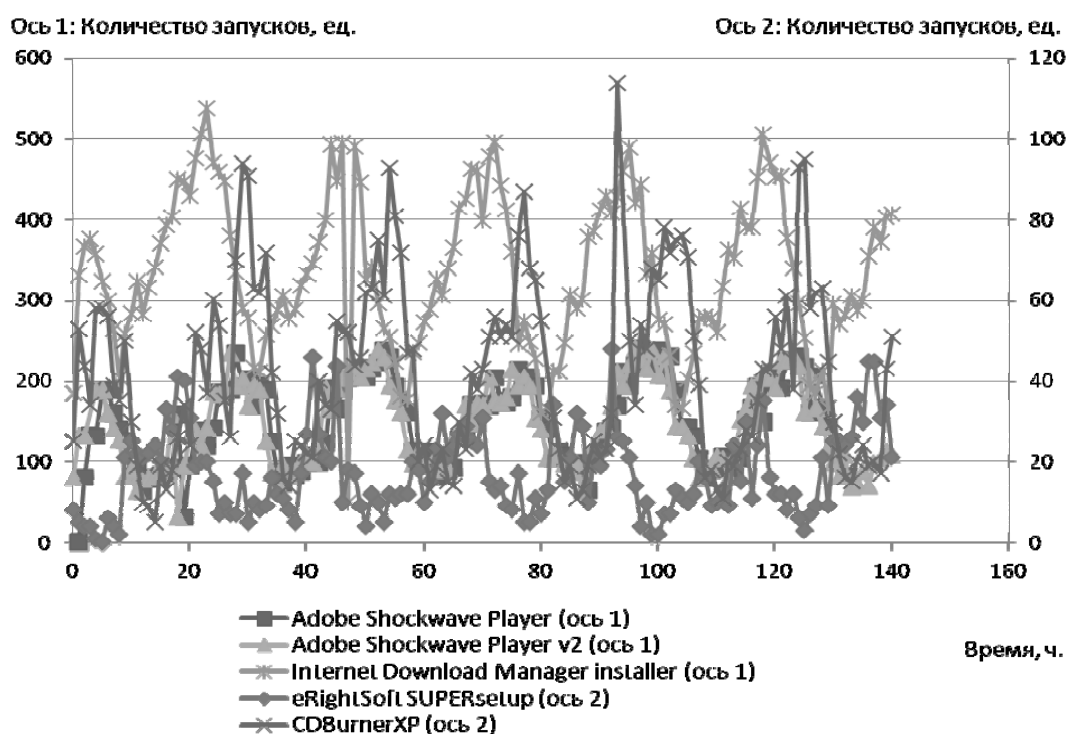


Рис. 1. Функции, описывающие процесс распространения чистого ПО

Как видно из рисунков, параметры кривых существенно отличаются. Для чистого ПО (рис. 1) характерны:

- длительное время жизни;
- устойчивость циклов на суточных промежутках;
- плавные, обусловленные изменением макропараметров (таких, как время суток или выход новой версии), изменения скорости распространения.

В то же время как для вредоносного ПО (рис. 2) характерны:

- короткое время жизни;

- отсутствие четкой зависимости от суточного периода;
- отсутствие плавного затухания скорости распространения – характерна резкая остановка распространения;
- «скачкообразные» изменения для скорости распространения.

Отличия обусловлены тем, что на процесс распространения вредоносной программы влияет намного большее количество факторов, нежели на процесс распространения легального приложения, одни из которых способствуют увеличению скорости распространения, другие – ее уменьшению.

Таким образом, сформулированная ранее задача сводится к задаче распознавания образов в новом признаковом пространстве. Очевидно, что воздействие большого количества стохастических факторов на процессы распространения ПО, вредоносного и не вредоносного, повлечет флуктуации кривых на рис. 1, 2. Это обуславливает возможность использования статистических алгоритмов для решения задачи распознавания образов.

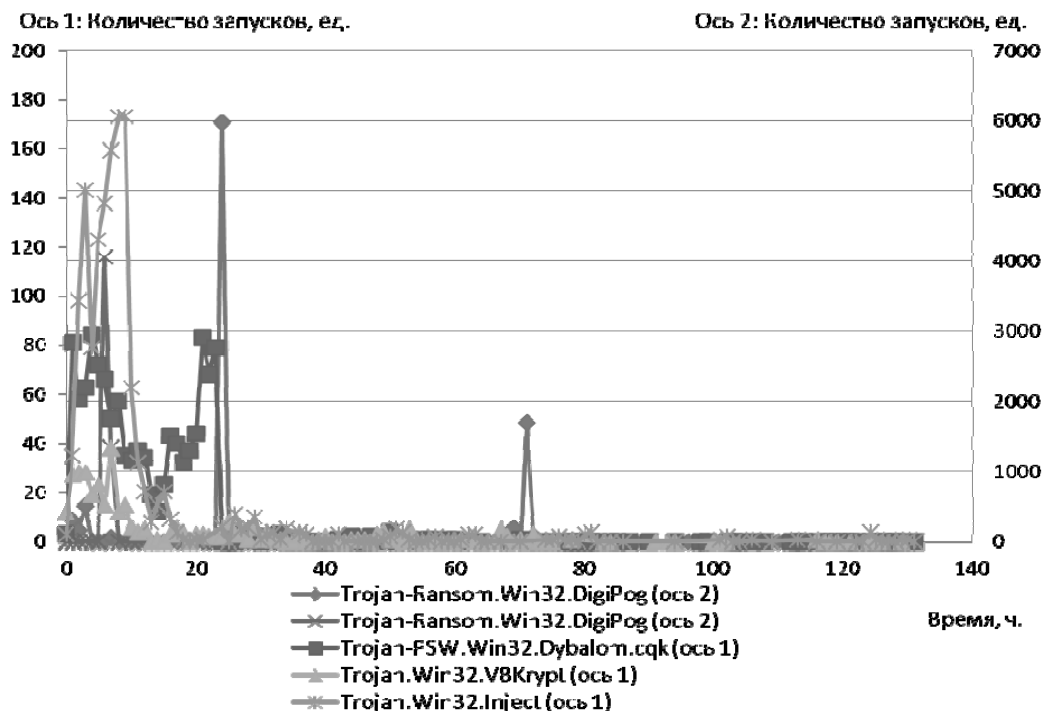


Рис. 2. Функции, описывающие процесс распространения вредоносного ПО

Определившись с пространством признаков, далее требуется сформировать базу знаний, например, в виде линейных матриц, как о процессах распространения заведомо легальных программ, так и о процессах распространения вредоносных программ. В ходе создания базы знаний, а также проведения испытаний признаки подобия процессов-паттернов могут уточняться введением дополнительных корреляций между первичными параметрами.

Целью дальнейших исследований является обоснование и разработка классификатора, который позволит с заданной степенью достоверности осуществлять задачу классификации образов.

Заключение

Предложен новый подход к обнаружению вредоносных программ, основанный на анализе процесса их распространения, отличающийся от известных тем, что рассматриваются не отдельные признаки, описывающие содержание файла, а параметры, характеризующие то, как файл распространялся у пользователей.

На основе данного подхода может быть разработан новый класс алгоритмов, основанных на собираемой в реальном времени информации о распространении некоего программного обеспечения и классифицирующих данное программное обеспечение как чистое или вредоносное. Планируется, что новые алгоритмы будут опираться на выдвинутое в работе предположение, согласно которому процессы распространения вредоносного и легального программного обеспечения различаются.

Также несомненным достоинством предложенного метода является возможность предотвращения ложных срабатываний на тех файлах, процесс распространения которых похож на процесс распространения чистых программ.

Для дальнейшей работы над представленным методом целесообразно описать и оценить:

- выбор параметров модели (алгоритм принятия решения, задачи классификации образов);
- информативность признакового пространства;
- эксперименты и анализ их результатов.

Литература

1. Гостев А. Kaspersky Security Bulletin 2010. Развитие угроз в 2010 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.securelist.com/ru/analysis/208050677/Kaspersky_Security_Bulletin_2010_Razvitie_ugroz_v_2010_godu, свободный. Яз. рус. (дата обращения 29.11.2011).
2. Наместников Ю. Развитие информационных угроз во втором квартале 2011 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.securelist.com/ru/analysis/208050710/Razvitie_informatsionnykh_ugroz_vo_vtorom_kvartale_2011_goda, свободный. Яз. рус. (дата обращения 29.11.2011).
3. Наместников Ю. Развитие информационных угроз в первом квартале 2011 [Электронный ресурс]. – Режим – доступа: http://www.securelist.com/ru/analysis/208050695/Razvitie_informatsionnykh_ugroz_v_pervom_kvartale_2011_goda, свободный. Яз. рус. (дата обращения 29.11.2011).
4. Fossi M., Mazurek D., Egan G. Symantec Internet Security Threat Report 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www4.symantec.com/mktginfo/downloads/21182883_GA_REPORT_ISTR_Main-Report_04-11_HI-RES.pdf, свободный. Яз. англ. (дата обращения 29.11.2011).
5. Машевский Ю. Антивирусный прогноз погоды: облачно [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.securelist.com/ru/analysis/208050657/Antivirusnyy_prognoz_pogody_oblachno, свободный. Яз. рус. (дата обращения 29.11.2011).
6. Nachenberg C., Ramzan Z., Seshadri V. Reputation: a new chapter in malware protection // Virus Bulletin Conference. – 2009. – P. 185–191.
7. Elovici Y.M., Tachan G.O., Shabtai A.C. A system that provides early detection, alert, and response to electronic threats. – European patent app. No. 07015353.1, 2008.
8. Mashevsky Y.V., Namestnikov Y.V., Denishchenko N.V. Detection and minimization of false positives in anti-malware processing. – US Patent No. 7,640,589 B1, 2009.
9. Mashevsky Y.V., Namestnikov Y.V., Denishchenko N.V. Method and system for detection and prediction of computer virus-related epidemics. – US Patent No. 7,743,419 B1, 2010.
10. Judge P. System and method for message threat management. – US Patent No. 7,225,466 B2, 2007.
11. Mering M., Childers S., Fleming A. Report of Task Force on Metadata Analysis // American Library Association. – Lincoln, 2006. – 17 p.

Зикратов Игорь Алексеевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой, zikratov@cit.ifmo.ru

Василенко Роман Сергеевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, zyx2145@gmail.com

УДК 681.3

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А.В. Гвоздев, И.С. Лебедев, И.А. Зикратов

Описывается вероятностный подход к оценке воздействия сообщений в открытых системах на мнение пользователей. Приводятся основные положения математической теории, пригодной для построения других вероятностных моделей.

Ключевые слова: открытая система, общественное мнение, вероятностная модель, информационное воздействие.

Введение

Современный этап развития информационно-телекоммуникационных систем (ИТКС) характеризуется внедрением новых технологий, повсеместным распространением локальных, корпоративных, глобальных вычислительных сетей. Ведение бизнеса, управление производственным процессом, финансовая и банковская деятельность обуславливают эксплуатацию корпоративных систем с открытым контуром информационной безопасности, где, наряду с использованием закрытых сегментов, необходима обработка, передача, распространение данных и документов в глобальных компьютерных сетях.

Сравнительная легкость доступа к различным страницам, сайтам сети Интернет влечет необходимость идентификации возможных направлений информационного воздействия и атак на ресурсы, находящиеся в открытом доступе [1, 2]. Анализ этих составляющих может являться отправной точкой для определения уязвимостей и обоснования требований к составу и построению средств защиты информации (СЗИ), обрабатывающих текстовую информацию.

Вероятностная модель информационного воздействия

Рассмотрим вычислительную сеть Интернет как глобальную ИТКС. Выделим в ней множество информационных объектов [1, 3]. В нашем случае порталы, сайты, страницы и другие сервисы и ресурсы сети Интернет будут являться информационно-техническими объектами (ИТО). Конечных пользователей, коллективы, анализирующие предоставляемую ИТО информацию, обозначим как информационно-психологические объекты (ИПО). Такой подход позволяет определить модель ИТКС в виде кортежа

$$M = \langle O_t, O_p, T_i, T_o \rangle,$$

где O_t – множество информационно-технических объектов; O_p – множество информационно-психологических объектов; T_i – входные информационные потоки текстовой информации; T_o – выходные информационные потоки текстовой информации. Рассмотрим упрощенную структуру анализа воздействия входного информационного потока текстовой информации на ИПО (рис. 1).

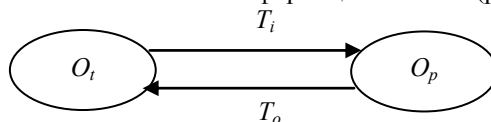


Рис. 1. Информационные потоки ИТКС

Под информационным потоком понимается множество сообщений, получаемых ИПО от объектов противоположного типа (ИТО-ИПО). Использование информационных потоков со стороны злоумышленника подразумевает возможность информационно-психологического воздействия, заключающегося в проведении с применением ИТО комплекса мероприятий по воздействию на интеллектуальную, рационально-волевую, эмоционально-чувствительную сферы психики и подсознание ИПО, направленных на формирование у них прогнозируемых мнений и взглядов, мировоззренческих и психологических установок, поведенческих реакций [4].

Информационно-психологическое воздействие обусловлено угрозами модификации информации и конфиденциальности, осуществляемыми с помощью средств и технологий ИТО [4]. Примером для сети Интернет может служить основанное на модификации информации явление астротерфинга или раскрытие конфиденциальной информации сайтами, подобными Wikileaks. В качестве примера также можно привести подробный отчет об одном эксперименте о влиянии на общественное мнение сайтов, на которых организованы акции астротерфинга [5].

Осуществление угроз связано с организацией потенциально опасных сообщений, содержащих раскрытую конфиденциальную или модифицированную доступную информацию с целью формирования эмоционально-психологической реакции, прямо или косвенно способствующей достижению целей злоумышленника [4]. Ввиду сказанного выше становится актуальным мониторинг и контроль открытых источников. Однако, учитывая их количество и невозможность осуществлять тотальный контроль с применением только «ручных» технологий, возникает задача выбора ИТО, использование которых злоумышленниками может оказать наибольшие негативные последствия, что обуславливает необходимость определения вероятности информационного воздействия, оказываемого информационным сообщением.

Для осуществления информационного воздействия необходимо, чтобы произошла некоторая последовательность событий. Например, пользователь сети Интернет должен выполнить последовательность действий: открыть сайт, на котором злоумышленник поместил информацию, ознакомиться с ней, воспринять сообщение как достоверное.

Разобьем событие ознакомления с содержанием на отдельные составляющие:

- p_1 – вероятность того, что пользователь будет работать с ресурсом, содержащим потенциально опасное информационное сообщение;
- p_2 – вероятность обнаружения (чтения) сообщения;
- p_3 – вероятность оказания воздействия содержания сообщения на конечного пользователя.

Предположим, что вероятность того, что сообщение повлияет на одного пользователя, будет зависеть от вероятностей одновременного наступления указанных выше событий (для простоты будем считать, что эти события независимыми):

$$p_0 = p_1 p_2 p_3. \quad (1)$$

В общем случае для одного потока текстовой информации выражение (1) при $n=3$ можно записать следующим образом:

$$p_0 = \prod_{i=1}^n p_i. \quad (2)$$

Оценивая возможности ознакомления с ресурсами, следует отметить, что среднестатистический пользователь сети Интернет в России, согласно данным, приведенным в [6], регулярно посещает около полутора десятков ресурсов. Пусть ресурс, содержащий потенциально опасное сообщение, просмотрело m независимых пользователей. Тогда считаем, что данный ИТО предоставил m параллельных входных

информационных потоков. Учитывая выражение (2), вероятность информационного воздействия, оказываемого сообщением, можно представить как

$$p = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n p_{ij}), \quad (3)$$

где n – количество событий, возникновение которых обуславливает информационное воздействие на пользователя; m – число пользователей, открывших данный ресурс.

Для упрощения, считая равновероятным для каждого пользователя выражение (2), на основе (3) получаем соотношение

$$p = 1 - (1 - p_0)^m.$$

Таким образом, чем больше пользователей ознакомится с сообщением злоумышленника, тем выше вероятность того, что оно окажет информационное воздействие.

Для наглядного представления характеристик на рис. 2 приведен график для $p_0=0,01$ (сообщение комментария) и $p_0=0,2$ (сообщение центральной новости).

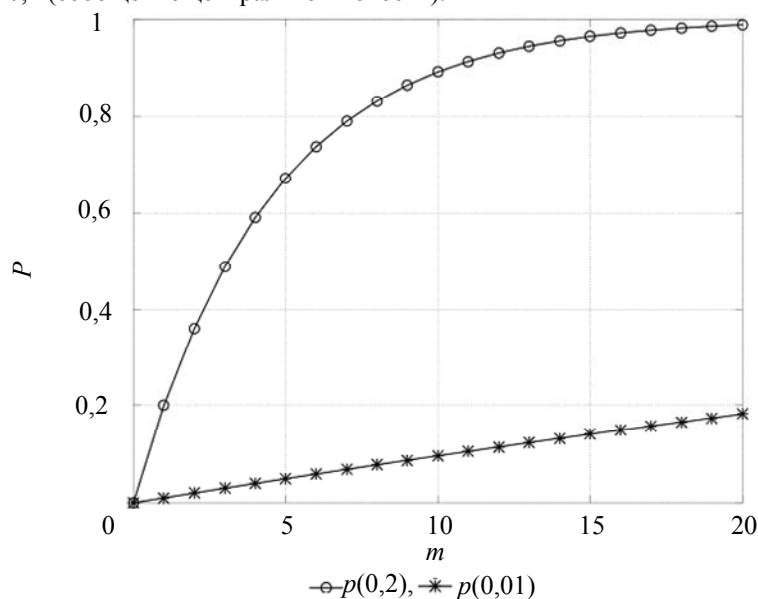


Рис. 2. Вероятность информационного воздействия в зависимости от количества пользователей

Использование ресурса для осуществления информационного воздействия определяет следующее соотношение:

$$\lim_{p_0 \rightarrow 1} p, \text{ т.е. } \lim_{p_0 \rightarrow 1} p_1 p_2 p_3 \rightarrow 1. \quad (4)$$

Для оценки информационного воздействия в упрощенном виде вероятности p_1 и p_3 будем считать зависимыми от индивидуально-психологических особенностей пользователя, на которые структура, ресурсы и состав ИТО не оказывают прямого влияния.

Вероятность события обнаружения p_2 зависит от роли и возможностей лиц, пытающихся воспользоваться ресурсом для оказания информационного воздействия. Если такое лицо является владельцем сайта или занимается его администрированием, то у него существует возможность показать сообщение на наиболее посещаемой странице и обеспечить привлечение к ней аудитории. Если сообщение выставляет рядовой пользователь, то для привлечения к информации он может применять «серые» методы «раскрутки» (частое повторение, организация отдельной темы обсуждения, всевозможное выделение), а также использовать различные пробелы и уязвимости при модерировании ресурса. В связи с этим, в целях достижения максимальной вероятности ознакомления с информацией, в последнее время злоумышленники все чаще применяют различные средства автоматизации и роботов, производящих рассылку сообщений на огромное количество ресурсов.

Вероятность оказания информационного воздействия p_3 определяется стилем и семантикой сообщения. В зависимости от целевой аудитории, на которую ориентировано сообщение, вероятность будет зависеть от структуры, объема и семантического значения информации.

На основе роста количества и частоты сообщений в социальных сетях можно выделить темы, интерес к которым остается неизменным, и события, находящие бурный отклик. Вполне возможно при оценке популярности той или иной темы применять программные средства на основе методов, использующих, например, разные модели сообщения, описанные в [7–10]. Исходя из этого, рассмотрим подход к моделированию возможного сценария атаки с целью осуществления информационного воздействия на пользователей портала сети Интернет.

Модель равномерно-распределенной интенсивности появления сообщений

Пусть каждое сообщение, находящееся на ресурсе, имеет вероятность информационного воздействия p_0 на ИПО. В течение некоторого промежутка времени до модерации сообщение доступно пользователям ресурса. Будем считать, что модерация ресурса происходит постоянно и равномерно. Рассмотрим вероятность информационного воздействия, зависящего от количества потенциально опасных сообщений в единицу времени. Пусть число сообщений n , требующих обработки в единицу времени t , является равномерно-распределенной величиной, т.е.

$$n(t) = \lambda t,$$

где λ – интенсивность поступления сообщений в единицу времени (единиц/ч), t – промежуток времени с начала наблюдений (ч). Тогда вероятность информационного воздействия на ИПО в течение времени до модерации, когда сообщения остаются на ресурсе, определяется следующим образом:

$$p(t) = 1 - (1 - p_0)^{\lambda t}. \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет провести оценку ИТО с целью выбора объектов мониторинга. На рис. 3 показана зависимость вероятности информационного воздействия при интенсивности появления 10 и 100 сообщений в единицу времени, например, для «центральных» сообщений и комментариев к ресурсу, подобному <http://news.mail.ru>.

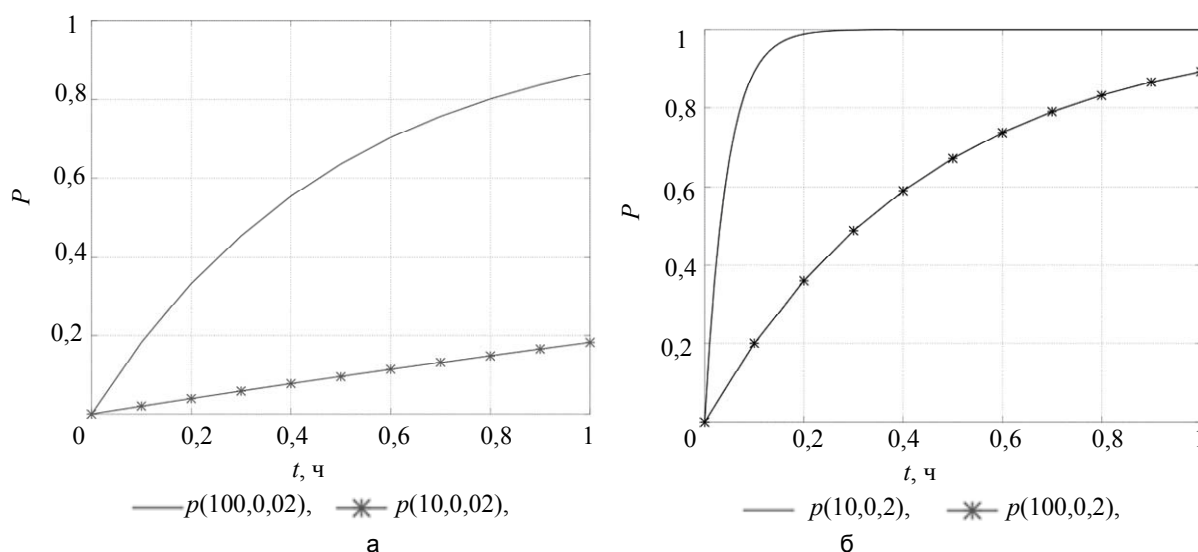


Рис. 3. Зависимость вероятности информационного воздействия при равномерно распределенной величине от вероятности содержания потенциально опасных сообщений $p=0,02$ (а) и $p=0,2$ (б) для $\lambda = 100$ и $\lambda = 10$ сообщений/ч

Из приведенных выше зависимостей следует, что чем больше времени не проверяется ресурс, на котором осуществляется публикация текстовых сообщений, тем выше вероятность информационного воздействия, которое является целью злоумышленника, приведенной в утверждении (4).

Исходя из зависимости (5), становится возможным определить характеристики СЗИ, заключающиеся в частоте модерации ресурса, и вычислить качественные показатели системы автоматического анализа информации, требуемые для обнаружения угроз конфиденциальности и модификации информации. Широко известный ресурс, имеющий большую аудиторию и высокую частоту посещаемости, несет больше потенциальных угроз информационной безопасности.

Заключение

Вероятностная оценка позволяет определить основные направления, где необходимо наращивание сил и средств, обеспечивающих защиту от негативных информационных воздействий. С помощью модели поведения потенциального злоумышленника, стремящегося ознакомить аудиторию с опасными сообщениями, становится возможным имитировать возможные сценарии информационных атак и обосновывать требования к системе защиты информации и мониторинга состояния информационной безопасности.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» по государственному контракту №07.524.12.4009.

Литература

1. Малюк А.А. Современные проблемы защиты информации и пути их решения // Безопасность информационных технологий. – 1999. – № 3. – С. 56–58.
2. Манойло А.В. Информационное противоборство в условиях психологической войны // Закон и право. – 2003. – № 12. – С. 31–34.
3. Дербин Е.А. Информационная безопасность союзного государства как основа его обороноспособности в условиях не прямых действий противника // Вестник Академии военных наук. – 2009. – № 2 (27). – С. 31–38.
4. Тучков Ю.Н. и др. Словарь терминов и определений в области информационной безопасности. – М.: ВАГШ ВС РФ, 2008. – 256 с.
5. Charles H.Cho, Martin L.Martens, Hakkyun Kim and Michelle Rodrigue. Astroturfing Global Warming: It Isn't Always Greener on the Other Side of the Fence // Journal of Business Ethics. – Springer Netherlands, 2011. – V. 104 – № 4. – P. 571–587.
6. Социология Интернета: Методика и практика исследования. – СПб: Ф-т филологии и искусств СПбГУ, 2007. – 130 с.
7. Лебедев И.С. Построение семантически связанных информационных объектов текста // Прикладная информатика. – 2007. – № 3. – С. 23–26.
8. Гвоздев А.В., Лебедев И.С. Адаптированная модель формализации коротких естественно-языковых сообщений для системы мониторинга информационной безопасности открытых вычислительных сетей // Сборник тезисов докладов конференции молодых ученых. Вып. 1. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 295 с.
9. Лебедев И.С., Борисов Ю.Б. Анализ текстовых сообщений в системах мониторинга информационной безопасности // Информационно-управляющие системы. – 2011. – № 2. – С. 37–43.
10. Тузов В.А. Компьютерная семантика русского языка. – СПб: СПбГУ, 2004. – 400 с.

- Гвоздев Алексей Вячеславович** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, a.gvozdev@icwg.net
- Лебедев Илья Сергеевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, info@cit.ifmo.ru
- Зикратов Игорь Алексеевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой, zikratov@cit.ifmo.ru

УДК 621.391

МЕХАНИЗМЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПЕРЕДАЧУ ДАННЫХ

Л.В. Баталов, М.И. Жуковский, Р.В. Киричек, Б.Н. Лазарев

Описаны механизмы и последствия преднамеренного электромагнитного воздействия на сети Ethernet с использованием сверхкоротких электромагнитных импульсов. Представлена вероятностная модель возникновения ошибок при передаче данных в сети Ethernet при таких воздействиях.

Ключевые слова: защита информации, электромагнитные воздействия, сверхкороткие импульсы, вероятности ошибок.

Введение

Преднамеренные электромагнитные воздействия (ПД ЭМВ) являются новым фактором угроз информационной безопасности ключевых объектов информационной инфраструктуры. Эту угрозу следует оценивать как долговременную, требующую принятия адекватных защитных мер со стороны государства и общества.

ПД ЭМВ наиболее эффективны при реализации их двумя способами:

- электромагнитным полем;
- по проводным линиям связи.

При этом наибольшую опасность представляют воздействия, имеющие относительно невысокую энергию и близкие по своим параметрам к полезному сигналу, передаваемому по линиям связи в сети Ethernet. Эти воздействия могут быть реализованы с использованием генераторов сверхкоротких электромагнитных импульсов (СК ЭМИ), технология создания которых стремительно развивается в последние годы.

К настоящему времени получено большое количество экспериментальных и теоретических результатов, подтверждающих высокую эффективность применения СК ЭМИ для искажения, уничтожения

и блокирования информации. Работы в направлении создания систем защиты, систем обнаружения электромагнитных атак требуют глубокого знания и понимания тонких механизмов работы ИТ-систем.

В работе приведены некоторые результаты разработки вероятностной модели возникновения ошибок при передаче данных в сетях Ethernet в условиях воздействия СК ЭМИ на физическую среду.

Механизм ПД ЭМВ на передачу данных

Сегодня повсеместно используемой технологией построения локальных сетей является Ethernet. В подавляющем большинстве для данной технологии на физическом уровне в качестве физической среды передачи данных, в основном, используется неэкранированная медная витая пара категории 5е [1]. В результате ПД ЭМВ электромагнитным полем или по проводным линиям связи с помощью генераторов-инжекторов уровень наведенных помех становится сопоставимым с уровнем информационных сигналов, что может приводить к разрушению обрабатываемой информации. На рис. 1 показан механизм возникновения ошибок при передаче сигналов в двоичном (манчестерском) коде.



Рис. 1. Искажение битовой последовательности в результате ПД ЭМВ

В настоящее время наиболее распространенные стандарты – Fast Ethernet (трехуровневое кодирование), Gigabit Ethernet (пятиуровневое кодирование) для спецификаций 100Base-TX и 1000Base-T соответственно – не используют алгоритмы кодирования с коррекцией ошибок, поэтому искажение даже одного символа в кадре ведет к ошибке приема всего кадра. Этот недостаток устранен в стандарте 10 Gigabit Ethernet (шестнадцатиуровневое кодирование), спецификация 10GBase-T, посредством применения избыточного кодирования с разреженной матрицей.

Вероятностные характеристики полезного сигнала в сети Ethernet

Для расчетных оценок вероятности возникновения ошибок при передаче сигналов в сетях Ethernet необходимы исходные данные по вероятностным характеристикам сигналов в физической среде передачи. Расчет этих характеристик проведем на основе упрощенной математической модели кодированной последовательности, базирующейся на следующих основных положениях:

- исходная (не кодированная) последовательность битов $x = (x_1 \dots x_n)$, $x_i = (0,1)$, $i = 1, 2 \dots n$ является случайной, состоящей из независимых одинаково распределенных величин. Полагаем, что вероятности появления нуля и единицы равны $1/2$;
- кодированная последовательность $y = (y_1 \dots y_n)$ является стационарной в широком смысле и эргодичной;
- схема кодирования $x \rightarrow y$ не вносит в выходную последовательность y ошибок;
- значения помехи много больше уровня фоновой шума в информационном канале. По этой причине аддитивный фоновый шум в данной работе не учитывается.

Алгоритм кодирования удобно представить в виде графа-дерева, в корне которого стоит символ y_1 , а n -й ярус представляет собой множество символов $\{y_n\}$, в которые может привести этот алгоритм через n шагов. Каждой ветви графа приписывается вес – соответствующая вероятность перехода. Всего таких графов имеется q – по алфавиту кодирования «леса», поэтому все характеристики необходимо также усреднять по возможным y_1 . Тогда нахождение всех вероятностных характеристик сводится к нахождению величин $z_1(n)$, ..., $z_q(n)$ – числа символов, соответствующего i -ой букве алфавита $z_i(n)$. Как правило, для этих величин можно написать рекуррентное соотношение [2], связывающее их с подобными величинами на предыдущих уровнях.

Можно показать, что, например, для алгоритма MLT-3, применяемого для передачи данных по витой паре в стандарте Fast Ethernet [2],

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P^n = \begin{pmatrix} 1/4 & 1/2 & 1/4 \\ 1/4 & 1/2 & 1/4 \\ 1/4 & 1/2 & 1/4 \end{pmatrix},$$

где P^n – матрица переходных вероятностей, поэтому вероятности появления символов $(-1,0,1)$ равны соответственно $(1/4, 1/2, 1/4)$. Усредняя по начальным состояниям, находим для MLT-3 коэффициент корреляции между 1-ым и $(1+n)$ -ым символом

$$K_n = P^n(1,1) - P^n(3,1) = 2^{-\frac{n+1}{2}} \sin \frac{\pi}{4}(n+1). \quad (1)$$

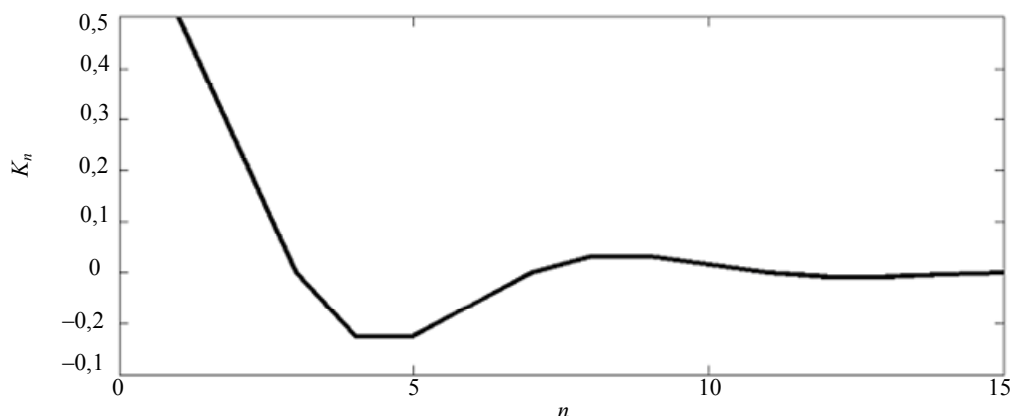


Рис. 2. Коэффициент корреляции между символами

На рис. 2 приведен коэффициент корреляции K_n для $n = 1-15$. Видно, что алгоритм кодирования имеет «память», так как имеется корреляция между символами, отстающими друг от друга на некоторое расстояние. Множитель $2^{-(n+1)/2}$ в (1) отвечает общему убыванию функции K_n , а второй множитель $\sin(\pi \times (n+1)/4)$ обеспечивает осцилляции. Это приводит к появлению бесконечного числа локальных экстремумов зависимости K_n . Наиболее велик первый локальный минимум, равный $-1/8$. Приведем первые семь значений:

$$K_n = 1/2, 1/4, 0, -1/8, -1/8, -1/16, 0 \dots \quad (2)$$

Авторами проведен статистический анализ реальных осциллограмм электрических сигналов Fast Ethernet различных типов трафика, передаваемого по сети. В результате анализа на цифровом осциллографе были записаны образы сигналов в линии связи. Полученные осциллограммы были обработаны с помощью пакета MATLAB 2009b (рис. 3).

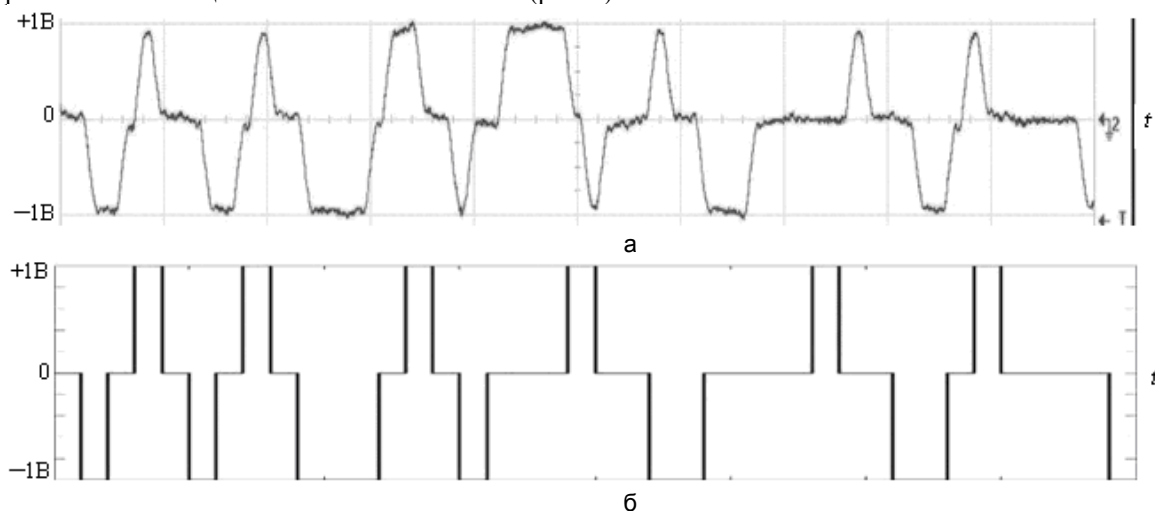


Рис. 3. Результат обработки фрагмента осциллограммы в пакете MATLAB для спецификации 100Base-TX: осциллограмма сигнала в линии связи (а); представление сигнала после обработки в пакете MATLAB (б)

Тип трафика	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
Потоковый	0,49	0,23	0,009	-0,12	-0,11
Сигнальный	0,49	0,23	0,012	-0,12	-0,12
Интерактивный	0,49	0,23	0,008	-0,12	-0,12
Передачи данных	0,50	0,23	0,013	-0,12	-0,11

Таблица 1. Экспериментальные значения коэффициентов корреляции

Восстановление из электрического сигнала последовательности символов $(-1, 0, 1)$ проводилось с помощью специального алгоритма прореживания, который включает в себя фильтр нижних частот. Вероятности появления символов, найденные теоретически $(0,25; 0,5; 0,25)$, близки к найденным экспериментально. Эти значения вероятностей можно рекомендовать для анализа влияния преднамеренных деструктивных электромагнитных воздействий на передачу данных в сетях Ethernet, использующих кодирование MLT-3 [3]. В табл. 1 приведены значения коэффициентов корреляции K_n , также полученные экс-

периментально для различных типов трафика, которые, как нетрудно убедиться, близки к вышеприведенным теоретическим значениям (2). Важным результатом является подтвержденная экспериментально практическая независимость статистических характеристик, в том числе вероятностей появления символов, от типа идущего по сети трафика.

Вероятности ошибок передачи при ПД ЭМВ

Из анализа возможных ошибок, возникающих в сетях Ethernet при воздействии СК ЭМИ [3], следует, что наиболее вероятным типом ошибок является передача кадра с повреждением (ошибка в контрольной сумме FCS). Предлагается оценивать снижение производительности сетей Ethernet путем оценки интенсивности возникновения данного типа ошибок.

Для этого рассмотрена простейшая сеть Ethernet, которая может быть представлена в виде двух компьютеров (передающего и принимающего информацию) и линии передачи данных (кабеля). Передаваемые данные представляют собой периодическую последовательность кодовых посылок различных уровней напряжения, образующуюся путем ряда преобразований исходного сигнала. Если напряжение импульсной помехи накладывается на электрические символы, то их значение может быть воспринято некорректно. Этот эффект называется единичным сбоем, и его вероятность обозначается P_e .

Предположим, что помеха $V(t)$ представляет собой последовательность импульсов, следующих друг за другом с частотой f (рис. 4).

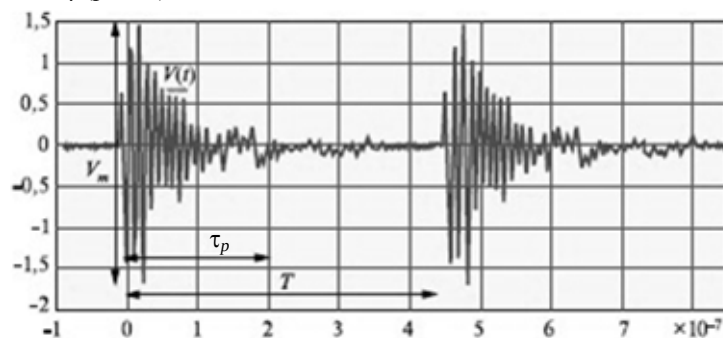


Рис. 4. Типовая осциллограмма СК ЭМИ, наведенных в линии связи

Тогда $V(t)$ можно преобразовать в эквивалентное напряжение гауссовского шума V_{ng} при условии равенства энергий этих помех [4]:

$$V_{ng}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt = V_m^2 \cdot f \cdot K,$$

где V_m – амплитуда импульса; $K = \int_0^{\tau_p} g^2(t) dt$; $g(t)$ – форма импульса; τ_p – длительность импульса.

Пусть кадр передаваемых данных состоит из N битов, а символьная скорость равна R . Тогда $m = (f \cdot N / R) \cdot (\tau_p \cdot R) = f \tau_p N$ битов будут подвержены воздействию. Вероятность того, что подверженный воздействию бит информации будет воспринят правильно, равна $Q = 1 - P_e$, а вероятность неправильной передачи кадра данных в результате единичного сбоя равна

$$P_{loss} = 1 - (1 - P_e(z))^m = 1 - (1 - P_e(z))^{f \tau_p N}.$$

Были рассмотрены различные схемы кодирования, применяемые в указанных выше наиболее распространенных спецификациях Ethernet (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet и 10 Gigabit Ethernet). Ниже приведены полученные формулы для расчета вероятности того, что принимаемый кадр будет потерян для спецификации 100Base-TX (3), 1000Base-T (3) и 10GBase-T (5).

$$P_{loss} = 1 - \left(0,5 - 0,25 \operatorname{erf} \left(\frac{1,202}{V_m \sqrt{f \tau_p}} \right) + 0,75 \operatorname{erf} \left(\frac{1,2121}{V_m \sqrt{f \tau_p}} \right) \right)^m, \quad (3)$$

$$P_{loss} = 1 - \left(\frac{1 + \operatorname{erf} \left(\frac{1,75}{V_m \sqrt{f \tau_p}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{1,25}{V_m \sqrt{f \tau_p}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{0,75}{V_m \sqrt{f \tau_p}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{0,25}{V_m \sqrt{f \tau_p}} \right)}{5} \right)^m, \quad (4)$$

$$P_{loss} = 1 - \sum_{k=0}^{h(SNR)} C_m^k P_e^k (1 - P_e)^{m-k}, \quad (5)$$

где m – число символов, подверженных воздействию; $h(SNR)$ – максимальное число искаженных символов, при котором кадр будет восстановлен и принят корректно.

На основе рассмотренной взаимосвязи качества обслуживания [5] и устойчивости сетей Ethernet [6] удалось сформировать перечень критичных параметров – вероятности потерь кадров P_{loss} , скажности S и амплитуды помехи A – для рассмотренных спецификаций Ethernet.

На основании полученных вероятностей была решена обратная задача и получены параметры устойчивости рассматриваемых спецификаций Ethernet (рис. 5).

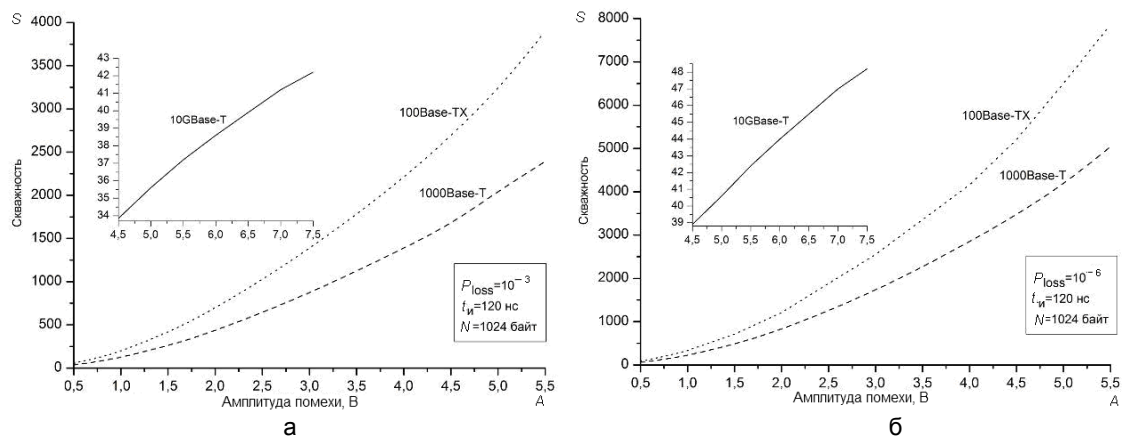


Рис. 5. Устойчивость сетей Ethernet в зависимости от амплитуды и скажности: вероятность потерь кадров 10^{-3} (а); вероятность потерь кадров 10^{-6} (б)

Для проверки адекватности расчетного аппарата был проведен натурный эксперимент. В проводной линии связи наводилась помеха с параметрами: амплитуда импульсов 5 В, их длительность 200 нс, частота повторения 5 кГц. Сопоставление экспериментально полученной в натурных экспериментах доли потерянных кадров с результатами расчетов последствий воздействия помехи с аналогичными параметрами приведено в табл. 2.

Технология	Длина кадра					
	64 байт		768 байт		1518 байт	
	теор.	эксперим.	теор.	эксперим.	теор.	эксперим.
Fast Ethernet 100Base-TX	0,17	0,16	0,33	0,31	0,50	0,54
Gigabit Ethernet 1000Base-T	0,21	0,19	0,36	0,35	0,54	0,58
10 Gigabit Ethernet 10GBase-T*	0	0	0,12	0,09	0,26	0,21

*Данные получены путем имитационного моделирования в MATLAB Simulink

Таблица 2. Доля потерянных кадров

Видно хорошее соответствие полученных результатов и теоретических расчетов.

Заключение

Преднамеренные электромагнитные воздействия могут приводить к ошибкам при передаче данных в сетях Ethernet. Анализ механизмов возникновения ошибок позволил предложить вероятностную математическую модель их возникновения при воздействии сверхкоротких электромагнитных импульсов, основываясь на представлении воздействия в виде эквивалентного гауссова шума. С учетом особенности кодировки в спецификациях 100Base-TX, 1000Base-T, 10GBase-T предложены соотношения, позволяющие рассчитать вероятности неправильной передачи пакета данных при известных параметрах наведенных периодических импульсных помех. Это позволит анализировать эффективности воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов на процесс передачи данных в сети Ethernet и формулировать рациональные требования к оборудованию для защиты данных от электромагнитных воздействий.

Литература

1. Программа сетевой академии Cisco CCNA 1 и 2. Вспомогательное руководство. – 3-изд. – М.: Вильямс, 2008. – 1168 с.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб: Питер, 2011. – 944 с.

3. Киричек Р.В., Лазарев Б.Н., Баталов Л.А. Вероятностные характеристики сигналов Ethernet // Сборник трудов Межвузовской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы организации и технологии защиты информации». – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – С. 135–139.
4. Вегешна ШПринивас. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 368 с.
5. Kohlberg I. and R.J. Carter. Some theoretical considerations regarding the susceptibility of information systems to unwanted electromagnetic signals // Proc. of the 14th Int. Zurich Symposium on EMC. – Zurich, Switzerland, 2001. – February 20–22. – P. 41–46.
6. Приказ Минкомсвязи РФ от 27.09.2007. № 113. «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования».

<i>Баталов Лев Алексеевич</i>	– ФГУП «ЦентрИнформ», инженер-программист, l.batalov@center-inform.ru
<i>Жуковский Михаил Иванович</i>	– ФГУП «ЦентрИнформ», кандидат технических наук, начальник НИИЦ, m.zhukovsky@center-inform.ru
<i>Киричек Руслан Валентинович</i>	– ФГУП «ЦентрИнформ», старший научный сотрудник, r.kirichek@center-inform.ru
<i>Лазарев Борис Николаевич</i>	– ФГУП «ЦентрИнформ», кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник группы, tiger50@mail.ru

УДК 65.011.56

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Е.И. Яблочников, С.Д. Васильков, Ю.Н. Фомина

Обоснована необходимость создания информационно-телекоммуникационной платформы для решения задач по выбору и проектированию новых полимерных композиционных материалов в сфере приборостроения. Определены программные системы для проектирования новых материалов и структурного анализа изделий с учетом технологий их изготовления. Представлена функциональная схема комплексного решения задачи. В качестве базовой технологии изготовления изделий рассматривается инжекционное литье. Определены требования к информационному обеспечению информационно-телекоммуникационной платформы с учетом использования базы данных материалов, как пользователями, так и программными системами.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, информационно-телекоммуникационные системы, САЕ-системы, автоматизация процессов проектирования изделия, база данных материалов.

Введение

Одной из тенденций развития промышленного производства является все более активное использование полимерных композиционных материалов (ПКМ). Исследования в области разработки и применения ПКМ проводятся в авиационной, космической, автомобильной, судостроительной и других отраслях. При разработке изделий приборостроения в центре внимания, наряду с их конструктивными особенностями, также всегда находится исходный материал, который должен подвергаться обработке с использованием определенных технологий и с обеспечением заданных параметров изготавливаемого изделия. Например, в работе [1] приведены результаты исследования интегрированных процессов проектирования и производства оптических изделий с применением ПКМ. Характерной особенностью проектирования изделий из ПКМ является параллельное принятие решений как о применяемых материалах, так и о конструктивных параметрах изделий, и при этом необходимо учитывать технологии их изготовления. В связи с этим требуется создание интегрированной автоматизированной системы, включающей как отдельные системы проектирования и производства изделий из ПКМ, так и актуальную базу данных ПКМ. Исходя из проведенного анализа научно-технического развития в области разработки и использования ПКМ, задача разработки комплекса базовых технологических решений для создания нового поколения приборов, а также новых подходов к моделированию технологических процессов и проектированию изделий с применением ПКМ является весьма актуальной.

Создание информационно-телекоммуникационной платформы

Одним из основных подходов, обеспечивающих выполнение поставленных задач, является переход к компьютерному автоматизированному проектированию материалов, когда становится возможным использовать сложные модели ПКМ, учитывать физические, химические характеристики, особенности и требования процессов производства, а также возможное поведение материала при эксплуатации изделий из ПКМ. Проведенный анализ позволил установить, что при имеющемся многообразии направлений разработки новых ПКМ существует слабая связь разработчиков материалов с проектантами новых приборов. Моделирование материалов невозможно осуществлять без понимания областей их применения и прогнозирования перспектив использования в конкретных изделиях или функциональных системах.

Следует также отметить, что в нашей стране практически не используются системы автоматизированного проектирования ПКМ, а такие системы в настоящее время становятся базовыми в ведущих исследовательских центрах [2]. Низкий уровень автоматизации в этой сфере приводит к более трудоемкому и длительному процессу проектирования ПКМ и изделий из них. Однако, в то же время, отечественные предприятия активно используют САЕ-системы для инженерного анализа и оптимизации параметров изделий, что можно считать хорошей предпосылкой для последующего распространения систем автоматизированного проектирования ПКМ.

Таким образом, необходимо создание интегрированной среды (информационно-телекоммуникационной платформы (ИТП)) для постоянного информационного взаимодействия между организациями-разработчиками и потребителями ПКМ, для доступа к общим программным и информационным ресурсам, для эффективного использования вычислительных мощностей, необходимых при выполнении такого рода задач.

Определены приоритеты, соответствующие мировым тенденциям в области развития систем моделирования жизненного цикла материалов [3]:

- создание интегрированной системы моделирования как распределенной виртуальной среды;
- акцент на создание и встраивание различных прикладных программ и библиотек, которые применяются для широкого спектра моделирования новых ПКМ;
- интеграция с системой прогнозирования применения новых материалов в конечных изделиях и приборах на начальном этапе формирования системы;
- обеспечение интеграции комплекса программных продуктов, поддерживающих методологию PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделия);
- использование технологии облачных web-сервисов для доступа к ресурсам ИТП;
- формирование новых образовательных программ, ориентированных на разработчиков и пользователей информационных технологий в этой сфере.

Важно отметить, что многообразие ПКМ по составу и свойствам привело на практике к созданию многих локальных баз данных, а сложности формирования материалов и разработки технологий их изготовления (в контексте проектирования конкретных изделий) привели к созданию многочисленных программ моделирования на базе математических моделей. Это позволяет индивидуализировать и оптимизировать процессы создания новых ПКМ в рамках создания ИТП.

Авторский коллектив имеет опыт проведения исследований и разработки автоматизированных систем в данном направлении. В Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики создана интегрированная распределенная система проектирования, прототипирования и подготовки производства изделий на базе PDM-системы ENOVIA SmarTeam [4]. Разработка выполнена в интересах предприятий полимерного кластера Санкт-Петербурга. Система поддерживает основные бизнес-процессы центра прототипирования (структурное подразделение полимерного кластера), связанные с проектированием изделий из полимерных материалов, производством их образцов, подготовкой опытной и промышленной серий. Промышленное производство изделий из полимерных материалов производится предприятиями кластера на термопластавтоматах, что требует расчета и проектирования отливок, пресс-форм и глубокого понимания процессов литья. Потенциал развития полимерного кластера – в использовании специализированных систем моделирования литейных процессов, в том числе и особенностей литья ПКМ, а также инженерного анализа изделий из ПКМ.

Программные системы для проектирования новых ПКМ

Для разработки новых ПКМ требуются новые технологии моделирования материалов, анализа состава и свойств, формирования различных вариантов реализации ПКМ и выбора наиболее подходящего с учетом требований. На основании проведенного анализа для создания экспериментального образца ИТП были выбраны следующие системы: Moldex3D (компания CoreTech System, <http://www.moldex3d.com>), Samcef (компания Samtech, <http://www.samtech.com>) и Digimat (компания e-Xstream engineering, <http://www.e-xstream.com>).

Основными критериями для выбора систем являлись следующие:

- область применения (возможность применения программного обеспечения для различных видов анализа материалов и изделий из ПКМ);
- типы материалов, для которых может применяться рассматриваемое программное обеспечение, возможность учета состава и микроструктуры материала;
- возможность решения междисциплинарных задач, позволяющих анализировать характеристики конструкций с учетом одновременно механического, теплового, электромагнитного, виброакустического и других полей;
- возможность анализа технологических процессов при различных видах литья изделий на термопластавтоматах;
- наличие информационных интерфейсов для построения интегрированных процессов (технология – материал – конструкция);
- коммерциализация программного обеспечения (возможность распространения на коммерческой или другой основе).

Кратко охарактеризовать системы можно следующим образом.

- Система Digimat – программный комплекс для многоуровневого нелинейного моделирования материалов. Позволяет осуществлять разработки многокомпонентных материалов, в том числе ПКМ. На сегодняшний день это базовая система для проектирования композиционных материалов во многих передовых промышленных компаниях.
- Система Samcef – CAE-система, предназначенная для инженерного анализа и виртуального моделирования изделий на основе конечно-элементного анализа. С использованием данной системы проводится инженерный анализ изделий, создаваемых из композиционных материалов. Важным достоинством в контексте данной работы является то, что компания Samtech представляет специальные подсистемы для проведения многостороннего моделирования различных классов приборов.

- Система Moldex3D предназначена для моделирования литья пластмасс под давлением и позволяет моделировать процессы заливки пресс-формы, выдержки под давлением, охлаждения детали, усадки и коробления, имеет специальный модуль для моделирования процессов изготовления деталей методом инжекционного литья из полимерных композиционных материалов (модуль eDesign-Fiber), а также интерфейсы со всеми основными CAE-системами.

Следует отметить, что в зависимости от типа изделий и технологий изготовления, наличия систем и опыта использования у разработчиков отдельные компоненты могут быть заменены на другие известные и широко применяемые на практике системы.

В целом представленная совокупность систем позволяет построить интегрированную среду для решения задач по проектированию изделий из новых ПКМ с учетом анализа конструкций изделий и технологий изготовления. Указанные системы имеют интерфейсы для обмена данными, могут работать на единой аппаратной платформе. При этом в нашей стране по всем указанным системам обеспечивается как поддержка пользователей систем со стороны российских компаний-представителей, так и подготовка специалистов в технических университетах.

Функциональная схема выбора и проектирования ПКМ предусматривает решение следующих основных задач (рисунок):

- автоматизация сбора и классификация требований к приборам и материалам, создание базы данных для хранения, поиска, идентификации ПКМ и их компонентов, формирование единой среды для поддержки процессов разработки новых ПКМ и изделий на их основе с обеспечением безопасного обмена математическими моделями материалов между поставщиками и потребителями (ПС1). Здесь и далее ПС означает подсистемы;
- расчет усредненных механических, тепловых, электрических и других характеристик многофазных и многокомпонентных ПКМ в зависимости от характеристик компонентов, в том числе связующего и армирующих материалов, функциональных включений, микроструктурной морфологии ПКМ; выполнение процессов реверс-инжиниринга материалов (ПС2);
- детальное исследование поведения ПКМ в реальных условиях эксплуатации с учетом его микро- и макроструктуры с применением технологий конечно-элементного анализа (ПС3);
- автоматизация процессов комплексного анализа характеристик изделий, выполненных на основе новых ПКМ, с учетом влияния параметров и режимов технологического процесса изготовления изделий (ПС4).



Рисунок. Схема разработки ПКМ

Решение указанных задач позволяет реализовать трехуровневую методику выбора материала:

- уровень 1 – поиск материала, отвечающего требованиям к изделию, в созданной базе данных материалов с применением ПС1;
- уровень 2 – предварительный выбор состава и микро-, макроструктуры ПКМ на основе компонентов, представленных в базе данных, и уточнение его характеристик в ПС2 (на данном этапе применяются аналитические методы расчета характеристик ПКМ, что позволяет существенно ускорить процесс выбора наиболее оптимального состава и характеристик микро- и макроструктуры ПКМ);
- уровень 3 – детальное исследование поведения ПКМ и его характеристик с применением технологий конечно-элементного анализа в ПС3. На этом уровне используются предварительно выбранный на предыдущем уровне состав и характеристики микро- и макроструктуры ПКМ.

В качестве примера приведем последовательность шагов, которые необходимо выполнить при проектировании корпуса прибора из термопластов, армированных короткими углеродными волокнами.

1. Осуществляется поиск материала, соответствующий требованиям к изделию. При отсутствии в базе данных материала определяются структура и характеристики нового материала в системе Digimat.
2. Создается трехмерная модель изделия и литниковая система, устанавливаются давление, температура, определяются свойства смолы (вязкость, сжимаемость, удельная теплоемкость, температуропроводность) и волокна (доля объема или массы, соотношение сторон, удельная теплоемкость, температуропроводность, эластичность) [5], строится конечно-элементная сетка.
3. Моделируется процесс литья в системе Moldex3D, что позволяет получить набор ориентационных тензоров в соответствии с конечно-элементной сеткой.
4. Сопоставляются конечно-элементная сетка, полученная после анализа процесса литья, и сетка, построенная для структурного анализа с помощью системы Digimat.
5. Моделируются нагрузки на изделие с учетом свойств структуры материала (ориентационные тензоры) с помощью системы Samcef.

Таким образом, предлагаемая концепция создания нового ПКМ не ограничивается его выбором на основе анализа свойств материалов из созданной базы данных, а предполагает его моделирование на различных уровнях с прогнозированием областей применения данного материала, что позволяет проследить полный цикл создания и использования данного материала в конечном продукте.

Рассмотренная схема решения задачи определяет также ряд общих требований к информационному обеспечению системы:

- возможность хранения разнородных данных, представленных в текстовой, табличной, графической формах и описывающих с требуемой степенью полноты информацию о материалах, изделиях, технологиях, производителях и потребителях;
- наличие эргономичного интерфейса для всех пользователей системы;
- обеспечение быстрого и удобного поиска информации по разным критериям;
- доступность информации и сервисов интегрированной системы через Интернет;
- обеспечение аутентификации пользователей и защиты информации.

В соответствии с этим разработка информационного обеспечения и выбор соответствующих программно-аппаратных средств является одной из ключевых задач как с точки зрения технической реализации, так и с позиций дальнейшего коммерческого использования продукта.

В настоящее время существуют достаточно большое количество коммерческих систем для поиска полимерных материалов. Однако эти решения предоставляют возможность лишь для хранения и поиска информации, а рассматриваемая постановка задачи предполагает интеграцию поисковых систем в среду разработки новых материалов и изделий. База данных ПКМ должна содержать не только те характеристики ПКМ, которые интересны потребителю материалов, но и дополнительные данные, которые необходимы для проектирования ПКМ, расчета и анализа конструкций и технологий в приведенных выше специализированных CAE-системах.

Заключение

Ключевым современным трендом в разработке материалов является переход от эмпирических подходов к компьютерному моделированию материалов, при котором используются сложные математические модели материалов, учитываются особенности и требования процессов производства, возможное поведение материала и конструкций при эксплуатации и утилизации. Анализ задач, решаемых при автоматизированном проектировании новых ПКМ, позволил определить состав и структуру программного обеспечения, а также требования к созданию информационного обеспечения межотраслевой информационно-телекоммуникационной платформы. Реализация такой платформы позволит интегрировать специалистов различных дисциплин (конструкторов, материаловедов, технологов) при выполнении НИОКР, связанных с исследованиями и разработкой изделий с применением новых полимерных композиционных материалов.

Исследования проводились в области информационно-телекоммуникационных систем для решения задач технологической платформы «Новые полимерные композиционные материалы и технологии» по заказу Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт № 07.514.12.4015 на выполнение научно-исследовательских работ от 06.10.2011).

Литература

1. Тинель П., Люк А., Милич И. и др. Игра со светом // Полимерные материалы. – 2011. – № 9. – С. 10–19.
2. Maréchal E. SAMCEF/Digimat based Numerical simulation of short fibers reinforced thermoplastics in aircraft engine applications // 12th SAMTECH conference. – Belgium, 2011. – P. 2–23.
3. Jovanovic A., etc. Roadmap of the European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies // EuMaT Members Version 27. – 2006. – P. 147.
4. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Информационные технологии в проектировании и производстве. – СПб: Политехника, 2008. – 304 с.
5. Каллистер У.Д., Ретвич Д.Дж. Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) / Под ред. А.Я. Малкина. – СПб: Научные основы и технологии, 2011. – 896 с.

- Яблочников Евгений Иванович** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой, eugenyu@bee-pitron.spb.su
- Васильков Сергей Дмитриевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, vasilkovsd@mail.ru
- Фомина Юлия Николаевна** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, yuli-fomina@yandex.ru

УДК 621.81.004.17

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОМ ОБОРУДОВАНИИ

В.А. Валетов, В.В. Медунецкий

Обоснована целесообразность применения электроэрозионного оборудования для упрощения технологии изготовления поверхностей, обеспечения высокой производительности и заданного качества поверхности. Приведены результаты экспериментов, показывающих несостоятельность параметрического подхода к оценке шероховатости поверхностей, полученных на электроэрозионном оборудовании. Установлено влияние шероховатости поверхности электрода-инструмента на время электроэрозионной обработки.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, электроэрозионные процессы, электроэрозионное оборудование, непараметрические критерии оценки шероховатости поверхности.

Введение

Современные предприятия, в том числе и приборостроительного профиля, ориентированные на серийный выпуск своей продукции, неизбежно сталкиваются с проблемой изготовления формообразующей оснастки. В условиях рыночной конкуренции преимущество получает прибор, обладающий лучшей эргономикой и дизайном при прочих равных технических параметрах, что нередко приводит к значительному усложнению геометрии формы, а также к высоким требованиям к микрогеометрии поверхности. В этой связи получает распространение электроэрозионное оборудование, на котором изготавливается формообразующая оснастка (матрицы, пуансоны, штампы). Методы электроэрозионной обработки известны достаточно давно [1]. Одной из основных характеристик электроэрозионного процесса является шероховатость обработанных поверхностей, которой в научной литературе не уделяется должного внимания. В качестве основного критерия оценки шероховатости поверхности выступает параметр Ra , однако в 80-е г.г. XX в. один из авторов настоящей работы доказал несостоятельность параметрического подхода и предложил новый, так называемый непараметрический подход [2]. Ниже предлагается рассмотреть подходы оценки шероховатости поверхности деталей при электроэрозионной обработке с использованием прошивных станков.

Физические основы электроэрозионного процесса

Возможность проведения электроэрозионной обработки в нормальных условиях обусловлена минимальной электропроводностью материалов – заготовки и инструмента. Удаление материала производится в рабочей жидкости с помощью разделенных друг от друга во времени и в пространстве электрических разрядов между электродом и заготовкой. Удаление материала становится возможным тогда, когда оба электрода приближаются друг к другу на расстояние, при котором происходит искровой разряд. При этом электрическая энергия преобразуется в тепловую. В канале разряда под действием высоких

температур из рабочей жидкости образуется газовый пузырь. В результате охлаждения канал разряда теряет свою электропроводность. Газовый пузырь испаряется, а рабочая жидкость удаляет частицы шлама из зоны разряда.

Известно [3], что в качестве основного параметра, оказывающего влияние на вышеуказанные процессы, является энергия разряда – количество энергии, переданное в межэлектродный зазор во время разряда. Она, в свою очередь, обуславливает объем расплавленного материала и создаваемую структуру поверхности. Энергией разряда можно управлять изменением силы тока разряда и продолжительности разряда. Напряжение разряда задает его энергию и, как правило, зависит от вида материала.

Особенности применения электроэрозионного оборудования

Основным преимуществом электроэрозионной обработки перед традиционной обработкой резанием является отсутствие таких факторов, как тепловые и силовые упругие деформации, что значительно расширяет область ее применения. Для электроэрозионной обработки не имеет значения твердость материала, что позволяет обрабатывать сверхтвердые материалы, а это приводит во многих случаях к более высокой экономической эффективности метода.

Применяются два типа станков: электроэрозионные профильно-вырезные станки и электроэрозионные прошивные станки. В профильно-вырезных станках электродом-инструментом является проволока. Подобное оборудование позволяет вырезать контур практически любой сложности с прямолинейными образующими. Данный метод также применяется при обработке заготовок высокой твердости с целью избежать дальнейшей обработки полученных поверхностей.

Принцип работы электроэрозионных прошивных станков заключается в том, что форма получаемой поверхности отображается в электроде-инструменте, который изготавливается индивидуально под конкретную задачу. На таком оборудовании можно получить форму практически любой сложности с заданным качеством поверхности. При обработке сложной формы зачастую используются несколько электродов. При этом сложная форма разбивается на более простые поверхности, для обработки которых изготавливаются свои электроды. Это приводит к увеличению производительности, точности и повышению качества поверхности. В ряде случаев такой метод обработки является единственно возможным.

Основным этапом технологической подготовки является расчет, проектирование и изготовление электрода-инструмента – определение эквидистантного «занижения» электрода-инструмента относительно геометрии требуемой формы заготовки. Под «занижением» понимают расстояние между поверхностью инструмента и обрабатываемой поверхностью. «Занижение» состоит из припуска на обработку, шероховатости требуемой поверхности и межэлектродного зазора (рис. 1).

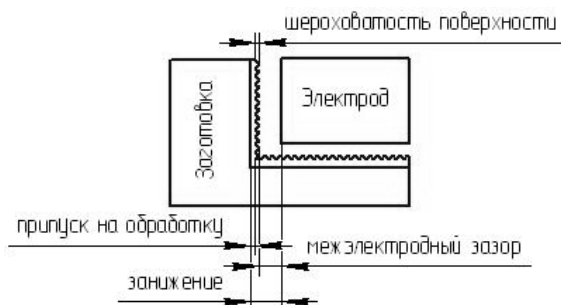


Рис. 1. «Занижение» электрода-инструмента

Покажем преимущество электроэрозионной обработки перед традиционной обработкой резанием на примере следующей задачи.

Пусть необходимо изготовить отверстие в заготовке диаметром 2 мм с допуском 1 мкм глубиной 50 мм в материале с высокой твердостью (60 HRC) и при этом обеспечить шероховатость поверхности $Ra 1,6$. Одним из способов изготовления является традиционное сверление с последующей разверткой отверстия чугуном притиром до требуемой шероховатости поверхности. Однако, исходя из соотношения диаметра и глубины обработки, равного 25, потребуется применение индивидуального инструмента. При этом возникают проблемы минимизации радиального биения сверла, обеспечения вывода стружки, подвода охлаждающей жидкости к режущим кромкам для уменьшения термических деформаций инструмента и заготовки. Также следует учитывать радиальное биение шпинделя применяемого оборудования.

Таким образом, решение указанной задачи традиционным способом является очень трудоемким, долгим и дорогим. Большое количество технологических операций, выполняемых при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки (установ), приводит к значительной погрешности базирования, что непосредственно сказывается на точности диаметра отверстия.

Подобное отверстие можно получить более простым и дешевым способом – методом электроэрозионной прошивки. Технология электроэрозионной прошивки состоит из следующих этапов:

1. расчет и изготовление электрода-инструмента;
2. подбор режимов обработки;
3. изготовление отверстия.

Практика показывает, что третий этап является самым длительным и определяет производительность электроэрозионной обработки. Требуемое отверстие с заданным качеством получается за один установ, что позволяет повысить производительность и уменьшить стоимость обработки.

Экспериментальные исследования поверхностей деталей, полученных на электроэрозионном оборудовании

Как отмечалось выше, при электроэрозионной прошивке необходимо обеспечить получение сложной геометрической формы при требуемой шероховатости поверхности. При этом шероховатость поверхности является основным параметром при расчете режимов обработки. В настоящее время принятым критерием оценки качества поверхности является параметр Ra (зарубежный аналог – параметр VDI). В работах [2, 4] было доказано, что использование параметрического подхода [5, 6] не дает объективной картины о микрогеометрии исследуемого профиля. Предложено в качестве критериев оценки шероховатости поверхности использовать графическое изображение плотностей ординат и тангенсов углов наклона профиля [4]. Данный подход к оценке качества поверхности назван непараметрическим.

Для доказательства несостоятельности параметрического подхода к оценке шероховатости получаемой поверхности в процессе электроэрозионной обработки был проведен ряд экспериментов. На электроэрозионном прошивном станке Form 20 фирмы Agie Charmilles было изготовлено пять опытных образцов с одинаковой шероховатостью поверхности Ra 1,6. Режимы обработки исследуемых поверхностей изделий (технологические таблицы режимов обработки) рассчитаны с использованием программного продукта швейцарской фирмы Agie Charmilles. При расчете режимов задана требуемая величина Ra . Рассчитаны геометрические параметры («занижение») и изготовлен электрод-инструмент.

Измерение профилей поверхностей полученных образцов производилось на профилографе Hommel Tester. Обработка численных значений микронеровностей произведена в среде MATLAB. Построены графические изображения исследуемых профилей. С использованием преобразования Фурье получены плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей (рис. 2). На приведенных рисунках представлены плотности распределения ординат (рис. 2, а) и тангенсов углов наклона профилей (рис. 2, б) для пяти поверхностей с одинаковым параметром Ra 1,6. Видно, что при одинаковом параметре Ra 1,6 плотности распределения существенно отличаются от образца к образцу. Это доказывает, что параметр Ra не может служить оценкой шероховатости при электроэрозионной обработке.

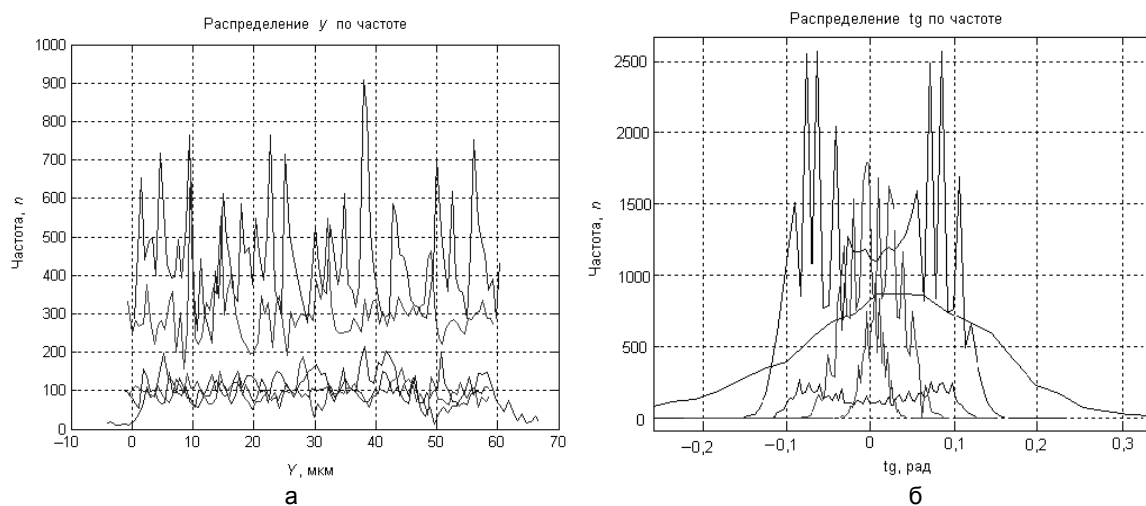


Рис. 2. Плотности распределения профилей для пяти поверхностей с параметром Ra 1,6: ординаты (а); тангенсы углов наклона (б)

Для подтверждения полученного результата были изготовлены и исследованы 20 опытных образцов с различными значениями параметра Ra от 0,1 до 4,3. Для каждого образца построены плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей. Выявлено несоответствие расчетных параметров Ra с измеренными значениями (рис. 3).

Поставлена задача выявить влияние шероховатости электрода-инструмента на длительность процесса электроэрозионной обработки. Рассчитаны и изготовлены два электрода-инструмента с различной шероховатостью поверхности: 0,4 и 2,7. Данными электродами требовалось получить на одной и той же заготовке поверхности с шероховатостью Ra 0,1. Поскольку все параметры электроэрозионной обработки, кроме

исходной шероховатости рабочей части электрода-инструмента, одинаковы, то на основании технологических таблиц режимы обработки были также одинаковы. Эксперимент показал, что поверхность, обработанная электродом с шероховатостью $Ra\ 2,7$, была получена при равных условиях в 1,36 быстрее, чем поверхность, обработанная инструментом с шероховатостью $Ra\ 0,1$. Учитывая то, что общим недостатком электроэрозионной обработки является сравнительно низкая производительность, эксперимент показал возможность ее увеличения (уменьшения времени обработки поверхности) за счет подбора оптимальной исходной шероховатости поверхности электрода. В ходе исследования также выявлено, что износ электрода-инструмента зависит от начальной шероховатости его поверхности. Основываясь на установленных фактах, авторами работы предлагается ввести понятие инструментальной шероховатости (шероховатости поверхности электрода-инструмента), влияющей на характеристики электроэрозионного процесса. При решении задач сложного формообразования на производстве данный критерий производительности выходит на первый план, поскольку от него напрямую зависит себестоимость готового изделия.

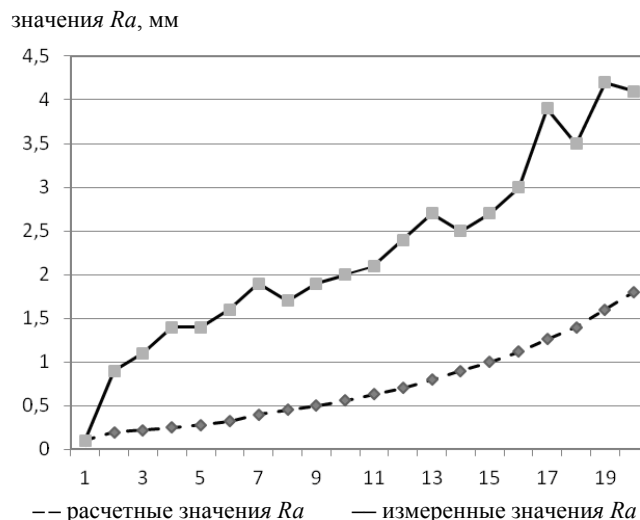


Рис. 3. Расчетные и измеренные значения Ra образцов

Заключение

В результате проведенных экспериментов на электроэрозионном оборудовании (прошивной станок Form 20) показана несостоятельность параметрического подхода к оценке шероховатости получаемых поверхностей. Установлено влияние шероховатости поверхности электрода-инструмента на время электроэрозионной обработки, а, следовательно, и на производительность процесса.

Литература

1. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учебное пособие в 2-х томах. — М.: Высшая школа, 1983. — Т. 1. — 215 с.
2. Валетов В.А. Возможные критерии оценки шероховатости обработанных поверхностей // Труды ЛКИ. — 1976. — Вып. 108. — С. 135–140.
3. Руководство по эксплуатации электроэрозионного станка Form 20. Charmilles Technologies SA / Beijing Agie Charmilles Industrial Electronics Co., Ltd /2007.
4. Валетов В.А., Иванов А.Ю. Непараметрический подход к оценке качества изделий // Металлообработка. — 2010. — № 6. — С. 55–59.
5. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. — Введ. 01.01.1975. — М.: Госстандарт СССР. — 7 с.
6. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. — Введ. 01.01.1983. — М.: Госстандарт СССР. — 22 с.

Валетов Вячеслав Алексеевич

— Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, valetov.v@mail.ru

Медунецкий Виталий Викторович

— Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, medunezkij@yandex.ru

УДК 338.24.01

НАУЧНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ МЕНЕДЖМЕНТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ

С.В. Мурашова

Изложены основные направления формирования научных предпосылок менеджмента интеллектуальной собственности, показана взаимосвязь стратегического инновационного развития страны с управлением интеллектуальной собственностью на уровне бизнес-единиц, также отражен современный подход к коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, бизнес-субъекты, бизнес-единицы, технократические теории, нематериальные блага, конкурентоспособность, инновационное развитие.

Введение

На современном этапе развития рыночных отношений Российская Федерация все еще остается страной, играющей роль сырьевого сектора глобальной экономики. Собственники предприятий России в основном ориентируются на краткосрочные и среднесрочные перспективы развития своего бизнеса, что обусловлено объективными хозяйственными рисками. Такая ориентация может привести к существенным потерям для экономики государства, поэтому в таких условиях большое значение придается модернизации традиционной экономики и коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности.

Устойчивость, успешность, новаторство национальной экономики во многом определяются теми возможностями, которые имеют владельцы нематериальных активов для их материализации. В связи с этим на современном этапе особо актуализируется проблема формирования и использования института интеллектуальной собственности в стране.

Актуальность вопросов создания и использования интеллектуальной собственности для российских компаний

Жизнеспособность государства во многом определяется научно-техническим прогрессом и интеллектуализацией основных факторов производства, создаваемых в нем и импортируемых из других стран. Однако в России в среднем используется 8–10% инновационных идей и проектов, тогда как в США – 62%, а в Японии – 95%. При этом доля российской наукоемкой продукции в мировом экспорте в 1990 г. составляла 6%, в 2000 г. – 1%, а в 2008 г. – 0,2%. Это вызвано тем, что Россия тратит на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы «в четыре раза меньше Японии, втрое меньше Германии и вдвое меньше Чехии», уступая конкурентам производство высокотехнологичного оборудования, об этом заявил в интервью «Российской газете» генеральный директор компании «Рособоронэкспорт» А. Исайкин.

Поскольку большинство компаний стремится достигнуть конкурентоспособного преимущества через эксплуатацию их технологических активов, вопросы создания и использования интеллектуальной собственности стали для них ключевыми. Кроме того, обостряющаяся конкуренция на внутреннем и мировом рынке товаров и услуг мотивирует бизнес-субъектов проявлять инновационную активность, что является одним из факторов, обеспечивающих коммерциализацию научных результатов и внедрение их в практическую сферу деятельности.

Научная база современного менеджмента интеллектуальной собственности

Современный менеджмент интеллектуальной собственности опирается на научную базу в этой сфере знаний, которая создавалась учеными, начиная с XIX – начала XX в.в. Сначала в теориях общественного развития получила фундаментальную разработку категория собственности как таковой, и только позднее появляется понятие «интеллектуальной собственности».

Технократические теории XIX в., которые являются составной частью большинства технологических теорий социально-экономической мысли того времени, базируются на идее перехода управления и власти в капиталистическом производстве и в обществе от собственников и политиков к инженерно-технической интеллигенции (технократии) и специалистам по управлению, выступающим в виде главной «движущей силы» прогресса. В данных теориях отразились реальные процессы возросшего значения применения науки и найма специалистов для функционирования общественного производства и государства в условиях научно-технической революции. Наиболее ярким представителем и разработчиком технократической теории был американский экономист и социолог Веблен (Veblen) Торстейн, который

рассматривал общество как промышленную машину, составными частями которой являются экономические институты [1]. Также он считал, что именно активностью носителей интересов производства, науки и техники обусловлен прогресс всего общества и экономики государства. Данная теория и была заложена в основу концепции инновационной деятельности развитых западных государств.

Понятие «интеллектуальная собственность» впервые было введено в международные правовые документы только в 1967 г. Стокгольмской конвенцией, учредившей Всемирную организацию интеллектуальной собственности (WIPO), после чего оно стало использоваться и в экономическом обороте, до этого в аналогичном значении употреблялся термин «результаты интеллектуального творчества». В России термин «интеллектуальная собственность» появился в статье [2], где в качестве объектов интеллектуальной собственности назывались произведения науки, литературы и искусства, а также результаты иных видов творческой деятельности.

Постепенно интеллектуальная собственность становится инструментом регулирования договорных взаимоотношений хозяйствующих субъектов, особенно в сфере промышленного наукоемкого производства. В 1992 г. в России были введены в действие законы, направленные на защиту интеллектуальной собственности [3–8]. Принятый пакет законов укрепил теоретическую базу, которая была использована для его разработки.

С начала 90-х г.г. XX в. в России начался активный процесс разработки теории управления интеллектуальной собственностью применительно к экономическим потребностям страны. Научные разработки концепции сущности интеллектуальной собственности как нематериального блага представлены в трудах известных российских ученых Э.П. Гаврилова, В.М. Мамаева, И.А. Близнеца, В.А. Рассудовского.

В настоящее время можно говорить уже о системном характере отношений в сфере интеллектуальной собственности, причем это не только правовые взаимоотношения, но и экономические отношения собственности. Таким образом, современный подход к пониманию сущности интеллектуальной собственности как правового института, обеспечивающего охрану и использование нематериальных благ, являющихся продуктами интеллектуальной деятельности, дает все основания говорить о создании нового правового и экономического поля [9].

Стратегия инновационного развития России

В связи с ключевыми индикаторами, заявленными в Стратегии инновационного развития России до 2020 г. (таблица), интеллектуальной собственности будет уделяться все большее внимание, особенно вопросам коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности.

Наименование индикатора	2010 г.	2016 г.	2020 г.
1. Коэффициент изобретательской активности (число отечественных патентных заявок на изобретения, поданных в России, в расчете на 10 000 населения)	1,95*	3	4
2. Число созданных передовых производственных технологий	854*	1500	2500
3. Интенсивность затрат на технологические инновации (удельный вес затрат на технологические инновации в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг)	1,39*	2	2,5
4. Доля уникальных, высокоточных, измерительных, аналитических, технологических приборов и оборудования не старше 8 лет (с учетом их модернизации), %	45	65	85
5. Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме экспорта товаров, работ, услуг, %	7*	12	15
6. Объем товаров, работ, услуг, связанных с нанотехнологиями, млрд руб.	119	350	600
7. Население, использующее Интернет для взаимодействия с органами власти, % (от численности опрошенных в возрасте 16–74 лет)	10	50	60
8. Доля лиц старше 50 лет, занимающих должности руководителей высшей и главной групп должностей госслужбы, %	48	40	30
9. Доля госслужащих, получающих ежегодно дополнительное образование за рубежом, %	0,1	1	3
10. Доля лиц, занимающих должности руководителей высшей и главной групп должностей госслужбы, получивших высшее профессиональное образование за рубежом, %	>0,5	4	12
11. Место России в рейтинге стран мира в области развития информационного общества (в соответствии с международными рейтингами)	59	30	18
12. Уровень соответствия международным стандартам нормативно-правовой базы в РФ в области инновационной деятельности, %	30	80	100
13. Удельный вес России в общемировом числе публикаций, % к общему числу публикаций в журналах, индексируемых в Web of Science	2,48*	4	5

* – данные 2008 г.

Таблица. Целевые индикаторы реализации Стратегии инновационной развития России до 2020 [10]

Как видно из заявленных индикаторов, к 2020 г. удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме экспорта товаров и услуг должен вырасти более чем в 2 раза, удельный вес затрат на технологические инновации в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг запланирован с ростом в 1,7 раза по сравнению с 2008 г., число созданных передовых производственных технологий планируется увеличить в 3 раза, а коэффициент изобретательской активности с ростом – в 2 раза. Это дает основание утверждать, что деятельность компаний в интеллектуальной сфере будет активизироваться, и, по всей видимости, всячески стимулироваться государством. Направление Стратегии задано на экспорт новых товаров и технологий, а также на повышение информационной грамотности населения.

Заключение

В современных условиях интеллектуальная собственность составляет значительную долю рыночной стоимости многих компаний, поэтому формирование концептуальных подходов в управлении ею так важно. Учитывая, что процесс создания интеллектуальной собственности, как правило, является капиталоемким и долговременным, встает вопрос об источниках финансирования данной деятельности и о том, какие конкурентные преимущества в результате она дает конкретной бизнес-единице. Именно усиление конкурентоспособности и, как следствие, рост ценности компании на рынке являются своего рода «мерилом» целесообразности и эффективности интеллектуальной деятельности. Совершенствование менеджмента интеллектуальной собственности позволит улучшить инвестиционный климат в стране, более 60% руководителей крупных «системообразующих» компаний разных стран однозначно связывают рыночную устойчивость своих компаний с их инновационной активностью [11].

Единообразный правовой и управленческий подход к понятию интеллектуальной собственности, соответствующий мировым стандартам, даст возможность и российским компаниям участвовать в глобальной конкурентной борьбе. В условиях ограниченных ресурсов одним из выходов для проведения интеллектуальной деятельности для компаний может быть коллаборация. Так или иначе, если есть стремление к повышению рыночной устойчивости компании, то деятельность в интеллектуальной сфере, инновационная активность и эффективный менеджмент интеллектуальной собственности – вот отправные точки в современной экономике, формирующие ценность бизнес-единицы.

Литература

1. Кокошин А.А. Технократия, технократы и неотехнократы. – М.: ЛКИ, 2009. – 208 с.
2. Закон «О собственности в РСФСР» от 24 декабря 1990 г. N 443-1.
3. «Патентный закон РФ» от 23.09.92 № 3517-1.
4. Закон РФ «О правовой охране программ для ЭВМ и баз данных» от 23.09.92 № 3523-1.
5. Закон РФ «О правовой охране топологии интегральных микросхем» от 23.09.92 № 3526-1.
6. Закон РФ «О товарных знаках, знаках обслуживания и наименовании мест происхождения товаров» от 23.09.92 № 3520-1.
7. Закон РФ «Об авторском праве и смежных правах» от 09.07.93 № 5351-1.
8. Закон РФ «О селекционных достижениях» от 06.08.93 № 5605-1.
9. Юсова В.В., Лукьянов Г.Н., Москалев Н.В. Проблемы осуществления патентно-лицензионной работы и внедрения инноваций в государственных научных организациях на региональном уровне // Журнал правовых и экономических исследований. – 2010. – № 4. – С. 16–22.
10. Газета РБКdaily: Анастасия Литвинова «Эксперты раскритиковали Стратегию инновационного развития России до 2020 года» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rbcdaily.ru/2011/01/11/focus/562949979523546>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 01.11.2011).
11. Инвестиции и инновации. Серия: Труды Института системного анализа Российской академии наук. – Т. 49 / Под ред. Е.Р. Орловой – М.: Ленанд, 2009. – 200 с.

Мурашова Светлана Витальевна

– Институт международного бизнеса и права НИУ ИТМО, кандидат экономических наук, доцент, fpp5@list.ru

УДК 330.101.8

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОСТИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ СТРУКТУР КАК СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**О.Г. Тихомирова**

Рассмотрены методологические и теоретические основы устойчивости и устойчивого развития предпринимательских структур как социально-экономических систем. Вопросы устойчивости и устойчивого развития приобретают все большую актуальность и остроту в обстоятельствах нестабильной социо-экономической ситуации, финансовых кризисов, ставших все более частыми в условиях глобализации. Предложены определения устойчивости, устойчивого развития, проведен анализ сущности устойчивости, предложены критерии, факторы устойчивого развития и принципы устойчивости предпринимательских структур.

Ключевые слова: предпринимательские структуры, социально-экономические системы, устойчивость, устойчивое развитие, принципы устойчивости, критерии устойчивого развития, факторы устойчивого развития, коэволюция.

Введение

В условиях сложившейся экономической, социальной и политической ситуации, характеризующейся глобальностью, нелинейностью процессов, сложным и трудно прогнозируемым поведением социально-экономических субъектов, одним из важнейших вопросов является обеспечение устойчивости и устойчивого развития предпринимательских структур как открытых динамических систем. Сегодня становится все очевиднее, что устойчивое развитие предпринимательских структур и выход из финансового и экономического кризиса невозможны на основе традиционных теорий и классических концепций управления [1].

Анализ имеющейся литературы по данному кругу проблем показал, что отсутствует четкое понимание сущности устойчивости и развития предпринимательских структур. Имеющиеся точки зрения на теорию и практику вопроса касаются в основном развития общества и социальных организаций в целом. Например, в соответствии с концепцией ООН устойчивое развитие подразумевает уравнивание экономического роста, охрану окружающей среды и неистощимость ресурсов [2]. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию определяет его как развитие, обеспечивающее сбалансированное решение социально-экономических задач и проблем сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений людей [3].

В докладе Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию под устойчивым развитием понимается развитие, при котором удовлетворяются потребности настоящего времени, но права будущих поколений на такие возможности не должны находиться под угрозой [4]. В Докладе Программы развития ООН (ПРООН) устойчивое развитие неразрывно связано с обеспечением равных возможностей, с вопросами моральной и правовой справедливости, а также с расширением доступа к более высокому качеству жизни; устанавливается взаимосвязь между развитием человечества и экологией [5].

Как показало исследование, теоретическая и методологическая база устойчивого развития и устойчивости предпринимательских структур практически отсутствует. Концепция устойчивого развития крупнейших компаний сконцентрирована на достижении долгосрочных целей по направлениям, заданным ООН: экономическому, социальному и экологическому.

Предложенный в настоящей работе подход к устойчивости и устойчивому развитию предпринимательских структур в условиях нестабильности и высокой неопределенности позволяет четко определить понятие устойчивости и устойчивого развития, разработать методологии развития предпринимательских структур, определить критерии и принципы устойчивости развития.

Понятие и сущность устойчивости предпринимательских структур

Под **устойчивостью** понимается способность предпринимательской структуры сохранять движение по намеченной траектории (достигать поставленных стратегических целей) или поддерживать намеченный режим функционирования, несмотря на воздействующие на нее возмущения внешней среды. Основными видами устойчивости являются равновесие, гомеостазис, стационарный режим.

Равновесие отражает такой характер взаимодействия разнонаправленных сил, процессов, явлений, при котором их воздействие взаимно погашается так, что свойства системы остаются неизменными. Таким образом, в предпринимательских структурах равновесие устанавливается в результате определенного механизма, основанного на согласовании интересов всех подсистем (распределения ресурсов, благ и доходов). Однако равновесие предпринимательской структуры не всегда означает оптимальность с точки зрения социальной справедливости. Равновесие может быть устойчивым (при сохранении равновесных свойств системы при внешнем воздействии) и неустойчивым.

Равновесие предпринимательской структуры должно быть рассмотрено в двух аспектах: статическом (точка равновесия) и динамическом (уравновешенный, сбалансированный процесс развития). В

экономической системе точкой равновесия является набор равновесных цен, обеспечивающих равенство спроса и предложения ресурсов. Равновесный сбалансированный процесс развития (рост) применительно к предпринимательским структурам – такой рост социально-экономической системы, при котором темп прироста запасов продукции, объемов производства в течение определенного периода времени является постоянным (тогда сущности понятий развития и роста предпринимательской структуры становятся тождественными).

Гомеостазис – устойчивое состояние равновесия предпринимательской структуры как открытой системы в ее взаимодействии с внешней средой. Под гомеостазисом понимается как неизменность существенных параметров системы под воздействием внешней среды, так и неизменность отношений системы с внешней средой. По своей сути предпринимательская структура является гомеостатом, стремящимся к обеспечению выживаемости и своей целостности как системы.

Стационарный режим – это режим функционирования системы, устанавливающийся с течением времени, при котором его характеристики остаются неизменными: устойчивое стационарное состояние, циклически повторяющаяся последовательность состояний системы, квазистационарный режим (колебательный характер состояний).

Режим функционирования социально-экономической системы, противоположный стационарному состоянию, называется **переходным периодом**, или **трансформацией**, когда осуществляется переход от одного состояния системы к качественно новому состоянию, сопровождающийся возникновением новых институтов, связей и отношений, постепенно вытесняющих устаревшие, и установлением новых закономерностей, тенденций функционирования и развития системы. В переходный период наблюдаются трансформационные эффекты – структурные сдвиги и трансформационный спад. Переходный период может осуществляться «шоковым» методом (либерализация) или эволюционным (градуализм). Как показала практика последних десятилетий, страны с переходной экономикой, использующие метод «шоковой терапии» для развития и перехода к рыночной экономической модели (например, тэтчеризм в Великобритании в 1980-х г.г., в 1990-е г.г.: Польша, Чехия, Эстония, Венгрия, Словакия, Словения и др.) достигли более быстрого экономического роста, чем страны с эволюционными методами (Румыния, Болгария, Россия и большинство стран СНГ) [6–8]. «Шоковая терапия» позволила ряду стран Центральной и Восточной Европы быстро перейти к рыночной экономике и войти в состав Евросоюза.

Результирующая схема понятия и сущности устойчивости предпринимательских структур представлена на рисунке.



Рисунок. Результирующая схема понятия и сущности устойчивости предпринимательских структур

Параметры устойчивости предпринимательской структуры оцениваются во взаимосвязи трех составляющих:

1. функциональная устойчивость – все функции предпринимательской структуры реализуются в полном объеме, бесперебойно, ритмично, эффективно;
2. элементная устойчивость – для всех функций существует необходимый для их реализации набор элементов, обеспеченных необходимыми ресурсами;
3. структурная устойчивость (по положению равновесия) – связи между элементами эффективны, своевременны, экономичны, ритмичны; отношения носят характер отношений единства, имеющих четкие ограничения.

К основным принципам устойчивости можно отнести:

- принцип системности – устойчивость является системной характеристикой, и, в свою очередь, рассматривается в триединстве ее составляющих;
- принцип ограниченности во времени – устойчивость является временным состоянием системы;
- принцип необратимости – возврат к предыдущему устойчивому состоянию невозможен;
- принцип динамичности – устойчивое состояние не подразумевает нечто «застывшее», оно неизбежно движется к неустойчивому.

Устойчивость предпринимательской структуры имеет ограниченную область распространения: в определенный момент эволюции среди множества состояний возникают границы устойчивости, отделяющие области притяжения различных состояний. В случае перехода системы через эти границы возврат к исходному состоянию невозможен. Следовательно, для возникновения нового качественного состояния (т.е. развития) предпринимательская структура должна перейти границы устойчивости: неустойчивое состояние является основой динамического развития. Устойчивость и устойчивое развитие различны по своей сущности.

Понятие, факторы и критерии устойчивого развития предпринимательских структур

Устойчивое развитие проявляется в триединстве экономической, социальной и экологической составляющих [9]. В годовом отчете МВФ за 2011 г. четко прослеживается взаимосвязь устойчивого развития и сбалансированного экономического роста [10]. Ряд крупнейших компаний принял концепцию устойчивого развития в соответствии с программой ООН, например, ОАО «ГМК Норильский никель», ОАО «НК Роснефть», ОАО «Газпром нефть» и др. В основном концепция устойчивого развития рассмотренных предпринимательских структур ориентирована на рост социальной ответственности, обеспечение защиты окружающей среды и роста экономической эффективности компаний; в целях управления устойчивым развитием создаются специальные структурные подразделения.

Устойчивое развитие предпринимательской структуры – это прогрессивное развитие с возрастанием эффективности, сопровождающееся улучшением параметров и неистощением (приращением) ресурсов динамической гомеостатической системы в триединстве социальной, экономической, экологической составляющих.

Важно, что устойчивое развитие не тождественно росту, хотя они и могут совпадать при определенных условиях. Традиционно понимаемый экономический рост, с ориентацией на максимизацию прибыли, и удовлетворение краткосрочного спроса приводят к истощению природных и социальных ресурсов, являющихся основой благосостояния общества. Устойчивое развитие – это развитие инновационное (созидательное), основанное на коэволюции и когерентном взаимодействии элементов предпринимательской структуры, а также предпринимательской структуры и социума. Сущность устойчивого развития – именно в инновационной деятельности и создании принципиально новых продуктов, услуг, технологий, форм и методов организации производства и взаимоотношений с обществом. Таким образом, механизм устойчивого развития основан на самоорганизации и поддержании динамического равновесного состояния предпринимательской структуры.

Развитие предпринимательских структур как динамических систем предполагает последовательную смену устойчивых и неустойчивых состояний. Трансформационный период (переход из одного состояния в качественно новое) характеризуется возникновением неустойчивости и сопровождается ростом чувствительности социально-экономической системы к малым воздействиям (устойчивые системы не меняют своего поведения на качественном уровне при малом изменении параметров). Следовательно, управление устойчивым развитием предпринимательской структуры возможно на основе правильно распределенных во времени и пространстве малых управляющих воздействий, за счет самоорганизации и взаимодействия элементов. Чтобы управлять развитием предпринимательской структуры, не обязательно формировать систему управления движением и компенсировать отклонение от заданного направления большим управлением. Достаточным может быть управление инновационным потенциалом (как внутренней энергией) на основе малых управляющих воздействий.

При определении факторов устойчивого развития предпринимательской структуры необходимо учитывать как внутренние факторы, так и внешние факторы по четырем уровням: глобальные факторы, макроэкономические факторы, мезоэкономические факторы, микроэкономические факторы (таблица).

Внутренние	1. стратегия 2. ресурсы (своевременность и полный объем надлежащего качества), зависимость от поставщиков и цен на ресурсы 3. технология 4. инновационный потенциал 5. культура 6. структура (коммуникации, принятие решений, иерархия) 7. процессы (современность организации, адекватность технологическим особенностям) 8. трудовой потенциал 9. размер
Внешние	
1. Глобальные	1.1. аффилированные структуры 1.2. международное законодательство и экологические нормы
2. Макроэкономические	2.1. национальная экономика 2.2. социокультурная и демографическая обстановка 2.3. законодательство
3. Мезоэкономические	3.1. системообразующие или нет 3.2. монополия, олигополия 3.3. политические и социальные результаты деятельности 3.4. структура собственников и собственности 3.5. дифференцированность бизнеса 3.6. уровень вертикальной цепи 3.7. уровень технологической цепи (все ли под контролем)
4. Микроэкономические	4.1. отрасль 4.2. динамика и конъюнктура рынка 4.3. зависимость от соседних рынков (фондовых, финансовых) 4.4. конкуренция и конкурентные преимущества

Таблица. Факторы устойчивого развития предпринимательских структур

Критериями устойчивого развития являются:

- соответствие траектории развития предпринимательских структур заданным (запланированным) стратегическим целям;
- прирост объемов производства (запасов);
- неистощимость (оптимум) ресурсов;
- адекватность выходного сигнала (результата) управляющему воздействию (при соответствии результату система устойчива, при несоответствии, т.е. при наличии ошибки управления – неустойчива);
- высокая адаптивность к изменению условий функционирования с целью сохранения своей целостности и обеспечения выживаемости.

Заключение

В настоящее время отсутствует методология устойчивого развития предпринимательских структур. Устойчивость системы и устойчивое развитие различны по своей сущности. Устойчивость должна рассматриваться в триединстве функциональной, элементной и структурной составляющих.

Устойчивое развитие характерно для самоорганизующихся высокоорганизованных систем. Сущность устойчивого развития проявляется в коэволюции (взаимодействии) структурных элементов предпринимательской структуры между собой и с внешней средой. Устойчивое развитие предпринимательской структуры основано на инновационных процессах и приводит к росту эффективности.

Дальнейшие исследования будут посвящены разработке механизма, методологии и моделирования устойчивого развития предпринимательских структур на основе гармонизации процессов управления и самоорганизации, теоретическому обоснованию взаимосвязи устойчивого развития и самоорганизации, а также установлению зависимости между устойчивым развитием и изменением потенциала предпринимательской структуры.

Литература

1. Подлесных В.И. Системный кризис экономики и новый методологический подход к развитию предпринимательских структур // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 5 (75). – С. 127–130.

2. Официальный портал ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/ru/development/sustainable/index.shtml>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 06.11.2011).
3. Указ президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 г. № 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».
4. Наше общее будущее. Доклад Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию. – М.: Прогресс, 1989. – 372 с.
5. Устойчивое развитие и равенство возможностей: лучшее будущее для всех. Доклад Программы развития ООН от 02.11.2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2011/download/ru>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 19.12.2011).
6. Feldman Robert A., Watson C. Maxwell. Central Europe: From Transition to EU Membership [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2000/09/feldman.htm>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 19.12.2011).
7. Balcerowicz Leszek. Poland's Transformation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2000/09/balcerow.htm>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 20.11.2011).
8. Nsouli Saleh M.. A Decade of Transition An Overview of the Achievements and Challenges [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/1999/06/nsouli.htm>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 20.12.2011).
9. Официальный портал Мирового центра данных по геоинформатике и устойчивому развитию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wdc.org.ua/en/sustainable-development>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 06.11.2011).
10. Международный Валютный Фонд. Годовой отчет 2011. Обеспечение справедливого и сбалансированного роста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imf.org/external/ns/loe/cs.aspx?id=71>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 19.12.2011).

Тихомирова Ольга Геннадьевна

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат экономических наук, доцент, olgatikhomirov@yandex.ru

УДК 339.9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.В. Даюб, Н.С. Куркина

Анализируется система управления рисками при перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу Российской Федерации. Рассмотрены основные элементы механизма этой системы. Проанализированы результаты работы системы.

Ключевые слова: риск, товары, таможенный контроль, система управления рисками.

Введение

Проблема управления рисками является предметом исследований многих зарубежных и отечественных ученых. Исследованию отдельных аспектов управления риском посвящены работы таких известных авторов, как Д. Бернулли, Ф. Гальтон, О. Моргенштерн, Ф. Блэк и др. Данные исследования заложили концептуальный фундамент общей теории оценки рисков. Развитие теории управления рисками шло по пути развития предметных областей. Например, в Российской Федерации (РФ) управление рисками применяется чаще всего в коммерческом секторе, и все научные исследования посвящены в основном риск-менеджменту в экономике. Риски, связанные с перемещением товаров и транспортных средств через таможенную границу РФ рассматривались в трудах ученых Российской таможенной академии. В их трудах рассмотрены возможные таможенные риски, проведена их классификация, предложены подходы к определению вероятности их возникновения. Вместе с тем аспекты исследования оценки последствий рискованных событий еще не получили необходимого развития.

1 июля 2010 г. вступил в силу Таможенный кодекс таможенного союза, что ознаменовало создание единого таможенного пространства России, Беларуси и Казахстана. Таможенный кодекс таможенного союза полностью базируется на нормах Международной конвенции об упрощении таможенных процедур (Киотской конвенции). Современное экономическое развитие России невозможно без активной экспортно-импортной деятельности, а также без привлечения иностранных инвестиций в национальную экономику.

Внешнеэкономическая политика РФ направлена на интеграцию с мировой экономикой и активное включение в международную торговлю при условии соблюдения юридических и правовых требований действующего законодательства. По этой причине в системе органов государственного управления внешнеэкономической деятельностью (ВЭД) таможенной службе отводится ключевая роль в регулировании внешней торговли страны как наиболее динамично развивающейся структуре, своевременно и качественно обслуживающей участников ВЭД.

В связи с постоянно возрастающим объемом товарооборота одной из основных проблем в работе таможенных органов РФ является недополучение таможенных платежей, так как возрастает риск пропуска через таможенную границу недекларированных или недостоверно декларированных товаров, что также может привести к снижению уровня экономической безопасности страны. Учитывая это, таможенная служба РФ была поставлена перед необходимостью использования современного общепринятого механизма эффективной организации таможенного контроля – системы управления рисками (СУР).

В связи с вышеизложенным актуальным вопросом является выработка практических рекомендаций по развитию существующей системы управления таможенным контролем.

Основные дефиниции таможенного риск-менеджмента

Термин «таможенный контроль» в соответствии с подпунктом 31 пункта 1 статьи 4 [1] трактуется как меры, применяемые для обеспечения соблюдения законов и положений, исполнение которых возложено на таможенные органы.

- *Риск* – вероятностная категория, т.е. это вероятность наступления или ненаступления какого-либо события под влиянием определенных факторов. В таможенном деле существует такой вид риска, как «риск несоблюдения таможенного законодательства РФ».
- *Анализ риска* – систематическое использование имеющейся у таможенных органов информации для определения причин и условий возникновения рисков, их идентификации и оценки возможных последствий несоблюдения таможенного законодательства РФ.
- *Товары риска* – товары, перемещаемые через таможенную границу РФ, в отношении которых выявлены риски либо существуют потенциальные риски.

Область риска определяем как отдельные сгруппированные объекты анализа, в отношении которых требуется применение отдельных форм таможенного контроля либо их совокупности, а также повышение эффективного качества таможенного администрирования.

- *Индикаторы риска* – определенные критерии с заданными заранее параметрами, отклонение от которых позволяет осуществлять выбор объекта контроля.
- *Оценка риска* – систематическое определение вероятности возникновения риска и последствий нарушений таможенного законодательства в случае его возникновения.
- *Профиль риска* – совокупность сведений об области риска, индикаторов риска, а также указания о применении необходимых мер по предотвращению или минимизации риска.
- *Управление риском* – систематическая работа по разработке и практической реализации мер по предотвращению и минимизации рисков, оценке эффективности их применения, а также контролю за применением таможенных процедур и таможенных операций, предусматривающая непрерывное обновление, анализ и пересмотр имеющейся у таможенных органов информации [1].

В таможенной сфере избежать рискованных ситуаций практически не возможно. Поэтому умение классифицировать риски, оценивать и управлять ими является важной и обязательной частью работы сотрудников таможенных органов, обеспечивающих успешное функционирование таможенной системы РФ. В настоящее время основным механизмом удовлетворения интересов России и участников внешней торговли при проведении таможенного контроля является СУР.

Основные принципы функционирования системы управления рисками

В Австрии в 1995 г. впервые в мире был создан стандарт по управлению рисками в таможенной службе. Многие страны на своем практическом опыте подтвердили эффективность использования в деятельности таможенных органов системы управления рисками, которая, в свою очередь, сократив время на оформление, значительно ускорила грузопоток, проходящий через таможенные пункты пропуска.

Федеральная таможенная служба России начала внедрять СУР, руководствуясь следующими базовыми принципами:

- принцип целевой направленности;
- принцип целостности;
- принцип информационного единства;
- принцип законности;
- принцип единства управления рисками.

В приказе «Об утверждении Концепции системы управления рисками в таможенной службе Российской Федерации» [2] была утверждена современная концепция СУР нашего государства. Данная кон-

цепция содержит основные понятия, применяемые системой управления рисками, ее элементы, основные задачи, принципы построения, а также цель и предпосылки ее разработки. Анализ концепции показывает, что ее положения соответствуют положениям Киотской конвенции, идентичными являются и используемые определения.

В данной концепции определены основные задачи системы управления рисками:

- создание единого информационного пространства, обеспечивающего функционирование системы управления рисками;
- разработка методик по выявлению рисков;
- определение потенциальных и фиксирование выявленных рисков;
- выявление причин и условий, способствующих совершению таможенных правонарушений;
- оценка возможного ущерба в случае возникновения потенциальных рисков и ущерба при выявленных рисках;
- определение возможности предотвращения или минимизации рисков, а также определение требуемых ресурсов и разработка предложений по их оптимальному распределению;
- разработка и применение методик оценки эффективности применяемых мер;
- разработка и практическая реализация мер по предотвращению или минимизации рисков;
- контроль за практической реализацией мер по предотвращению или минимизации рисков;
- оценка эффективности применяемых мер по управлению рисками и корректировка управленческих решений;
- накопление и анализ информации о результатах применения отдельных форм таможенного контроля либо их совокупности, а также о причинах и условиях, способствующих совершению таможенных правонарушений, с целью выработки предложений по модернизации стратегии таможенного контроля [3].

Одним из основных направлений СУР является реализация принципа выборочности при проведении таможенного контроля. Это приводит к сокращению количества таможенных досмотров и их проведение лишь в случаях срабатывания профилей риска, прямыми мерами, по минимизации которых определен таможенный досмотр, либо по заявлению декларанта, когда участнику ВЭД необходимо идентифицировать получаемый им товар.

Таможенные органы применяют метод анализа рисков для определения товаров и транспортных средств, подлежащих проверке. Так, таможенный контроль осуществляется за товарами, пересечение границы которыми сопряжено с риском для экономической безопасности страны. По ряду критериев (неверное наименование товара, следование в адрес несуществующего хозяйствующего субъекта, возможность размещения среди товара контрабанды, наркотических веществ и т.п.) была разработана классификация товаров, относящихся к группе риска. Таким образом, проводится серьезная аналитическая работа, на основе результатов которой принимается решение о методах таможенного контроля.

Основными элементами системы управления рисками являются:

- сбор и обработка информации о товарах и транспортных средствах, перемещаемых через таможенную границу России;
- выявление и анализ рисков;
- разработка и реализация мер по управлению рисками;
- обобщение результатов принятых мер и подготовка предложений.

Необходимо отметить, что в 2010 г. таможенные органы РФ смогли достигнуть следующих результатов:

- упрощены таможенные процедуры. Минимизированы сроки совершения таможенных операций: при выпуске товара – с трех до двух дней, при экспорте товара, когда не требуется уплата пошлин, – до четырех часов;
- упрощен экспорт сырьевых товаров, не облагаемых вывозными таможенными пошлинами. Упрощен порядок временного ввоза (допуска) и временного вывоза коммерческих и научных образцов;
- электронное декларирование, в том числе через Интернет, превысило 50%-ый рубеж. Таможенные органы в декабре 2010 г. ежедневно оформляли свыше 53,5% деклараций в электронном виде, в том числе 51,5% – с использованием Интернета. Более 30,6% участников ВЭД использовали интернет-декларирование;
- увеличилась сумма начисленных таможенных платежей. На 2010 г. прогнозируемая сумма доходов бюджета, администрируемых таможенными органами, была установлена в размере 4 трлн 97,31 млрд рублей. На 20 декабря 2010 г. она составила 4 трлн 115,46 млрд рубл.;
- уменьшилось число возбужденных уголовных дел. За 11 месяцев 2010 г. возбуждено 3873 уголовных дела, что на 29% меньше, чем за аналогичный период прошлого года. Выявлено незаконно перемещенных товаров и транспортных средств на сумму 10,9 млрд руб., неуплаченных таможенных плате-

жей – на сумму 487,4 млн руб., не возвращенных из-за границы средств в иностранной валюте – на сумму 116,3 млрд руб. [4].

Система управления рисками в странах ЕС и США

Применение системы управления рисками достаточно активно практикуется в странах ЕС и США. Анализируя их опыт, можно сделать вывод, что данная система должна быть автоматизирована с использованием соответствующего программного обеспечения. Это позволит анализировать внешнеэкономическую деятельность участников ВЭД в оперативном режиме, обеспечивать единство исполнения Таможенного кодекса на всей территории РФ, а также выборочный контроль товаров для таможенного контроля, исключив тем самым негативное влияние субъективного фактора при проведении отбора. Так, например, в США 72% внешнеторговых сделок обслуживается по «зеленому» коридору, 26% – по «желтому» коридору и только 2% – по «красному», т.е. только 2% перемещаемых товаров подпадают под достаточно детальный таможенный контроль. По мнению специалистов, это с учетом СУР обеспечивает 95%-ый уровень надежности таможенного контроля. В странах ЕС уровень надежности таможенного контроля составляет 97% [5].

В Российской Федерации в настоящее время под профили риска подпадает более 50% перемещаемых товаров. Анализ работы Федеральной таможенной службы России показывает, что официальные данные об уровне надежности таможенного контроля и методика их оценки в России в настоящее время практически отсутствуют [6]. Важно отметить, что в западных странах ученые активно занимаются разработкой теории управления рисками при перемещении товаров через таможенную границу, однако сами методики являются государственной тайной.

Анализируя отечественный и зарубежный опыт, можно прийти к выводу, что уровень надежности таможенного контроля в РФ существенно ниже, чем в США и странах ЕС. Таким образом, простое увеличение объема контрольных мероприятий не обеспечивает достаточный рост надежности таможенного контроля. Необходимо эффективное управление объемом контроля в конкретных условиях обстановки.

Так, базовыми международными нормами, определяющими принципы и основные направления деятельности таможенных органов в области управления рисками являются стандартные правила Главы 6 «Таможенный контроль» и других глав Международной конвенции об упрощении и гармонизации таможенных процедур Киотской конвенции [3]. Основные рекомендации в области управления рисками представлены на рисунке.



Рисунок. Основные положения и рекомендации Киотской конвенции в области управления рисками

Заключение

Таким образом, масштабы территории Российской Федерации обуславливают кардинальные различия в особенностях деятельности региональных таможенных управлений, которые накладывают определенный отпечаток на деятельность таможенных органов. Все это затрудняет централизованное управление и анализ внешнеэкономической деятельности. К таким различиям относятся:

- специфика товарной номенклатуры при импортных и экспортных операциях участниками внешнеэкономической деятельности;
- многообразие участников внешнеэкономической деятельности и особенностей их деятельности;

- разные уровни экономического развития регионов;
- присутствие иностранных компаний с опытом работы;
- объем посреднических услуг в осуществлении внешнеэкономической деятельности.

В настоящее время для принятия обоснованных и своевременных управленческих решений необходимо освоить более эффективные подходы к управлению таможенными рисками, а также разработать более совершенные модели системы управления рисками.

Литература

1. Таможенный кодекс таможенного союза. – М.: Проспект, 2010. – 184 с.
2. Приказ ГТК РФ от 26.09.2003 №1069. Об утверждении Концепции системы управления рисками в таможенной службе Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tks.ru/news/law/2003/10/06/0007>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 01.02.2012).
3. Киотская конвенция 1999 года. Глава 6. Таможенный контроль. Руководства к Генеральному Приложению. Неофициальный перевод, исключительно для информации // Материалы к заседанию коллегии ФТС России от 21 октября 2004 года. – М., 2004. – 49 с.
4. ФТС России подвела итоги за 2010 г. 12 января 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.customsonline.ru/1412-fts-rossii-podvela-itogi-za-2010-g.html>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 01.02.2012).
5. Некрасов В.А. Совершенствование управления таможенными процессами посредством использования системы анализа и управления рисками // Вестник КРСУ. – Бишкек: Кыргызско-Российский Славянский университет. – 2011. – Т. 11. – № 2. – С. 165.
6. Бойко А.П. Совершенствование управления таможенным контролем с учетом факторов риска: Автореферат дис.... к.э.н. – М., 2008. – 36 с.

- Даяб Анастасия Викторовна* – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат философских наук, доцент, anastasiya.dayub@gmail.com
- Куркина Наталия Сергеевна* – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, инженер, gav-kitten@yandex.ru

УДК 330

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕНЧУРНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ ПО СТАДИЯМ ИННОВАЦИЙ В РОССИИ И США

Г.С. Шевелев

Для развития инновационной сферы необходима сбалансированная система венчурного инвестирования. Отсутствие инвесторов на одной из стадий развития инноваций грозит снижением темпов развития инновационной сферы и утратой перспективных проектов и разработок. Приводится анализ инвестиций по стадиям инноваций в России и США, который выявляет существенные проблемы в развитии инноваций в Российской Федерации.

Ключевые слова: инновация, венчурное инвестирование, посевная стадия и старт-ап, инвестиционная цепочка инноваций, бизнес-ангел, венчурный фонд.

Введение

Необходимость перехода от экономики сырьевого типа к экономике, базирующейся на инновациях, является в настоящее время наиболее актуальной проблемой для Российской Федерации (РФ), так как инновации и инновационное развитие оказывают решающее влияние на состояние национальной экономики страны и ее конкурентоспособность в мировой экономике [1–4]. Для развития инновационной среды, кроме научного потенциала, требуется отлаженная система инвестирования инноваций, которая должна выявлять наиболее перспективные проекты.

Под инновацией следует понимать общественно-технико-экономический процесс внедрения в практику некоторого новшества, приводящий к повышению эффективности функционирования той системы, в которую внедряется новшество. Цикл развития инновации состоит из нескольких стадий: посевная, старт-ап, ранний рост, расширение, поздняя стадия. Из представленных стадий необходимо выделить посевную стадию и старт-ап. В данной работе под термином «стартовые стадии инновации» будут подразумеваться именно эти две стадии.

Инновационному проекту требуется относительно продолжительное время, прежде чем он сможет генерировать денежные потоки. Ключевым вопросом устойчивого развития проекта и его жизнеспособности становится способность инноватора обеспечить проект материальными и нематериальными ресурсами. Инвестирование в инновации на первых трех его стадиях связано с высоким риском быть убыточ-

ными и нереализованными, поэтому на этих стадиях требуются особые формы инвестирования. Наиболее подходящей формой финансирования инноваций является венчурное инвестирование [5, 6].

Инвестиционная цепочка инноваций

Венчурное инвестирование (англ. Venture) – инвестирование новых, растущих инновационных проектов и фирм, сопряженное с высокой или относительно высокой степенью риска. Принцип венчурного инвестирования – вложение капитала в обмен на значительную долю в растущей компании с целью получения высокой прибыли после продажи этой доли через определенное время. Основным механизмом генерации прибыли выступает рост капитализации компании за время совместной деятельности с инвестором. На венчурное инвестирование распространяется правило 2-6-2: два проекта из десяти проваливаются, шесть дают одно/двукратный возврат инвестиций, а два приносят 10–20-кратную отдачу инвестиций [7]. Чем выше потенциальная доходность проекта, тем и выше риск.

Венчурное инвестирование похоже на конвейер, здесь риск и потенциальная доходность перетекают от стадии к стадии (рис. 1). Одни инвесторы уходят, получив желаемый результат, передают проект другим инвесторам, для которых он только стал привлекательным. Они вкладывают свои средства в дальнейшее развитие.

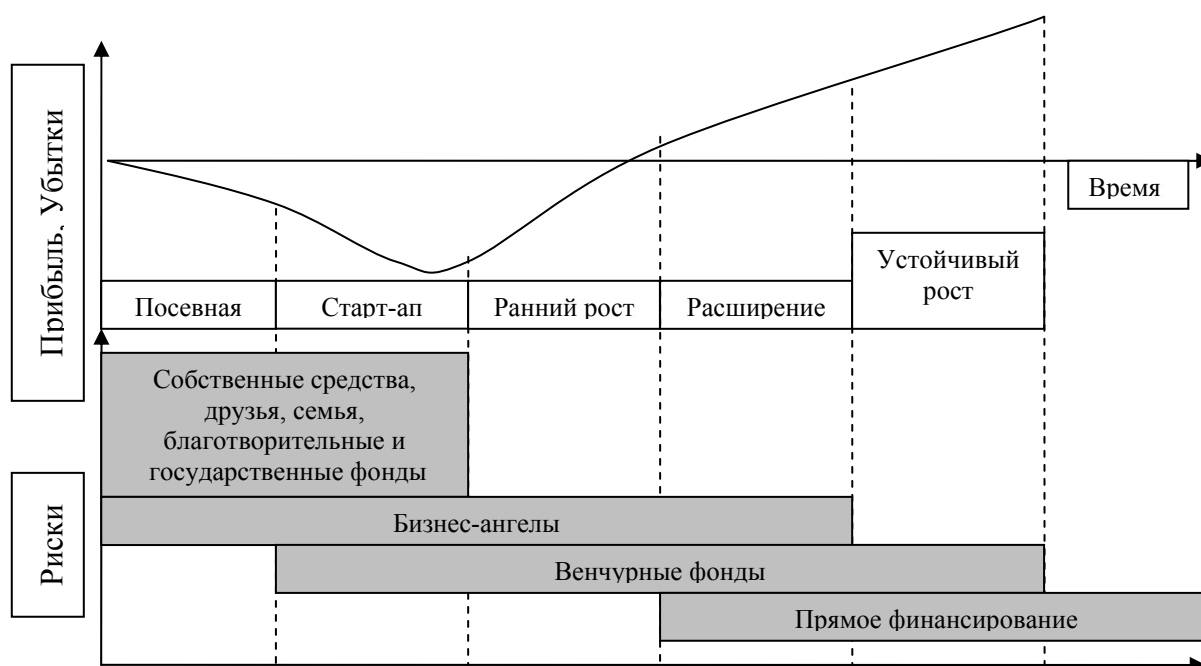


Рис. 1. Финансирование инноваций на различных стадиях

В этом проявляется взаимодействие различных инвесторов, заинтересованных в рискованных проектах и инновационной деятельности. Таким образом, формируется инвестиционная цепочка. Отсутствие какого-либо звена инвестиционной цепочки приводит к снижению числа реализованных инноваций, утрате потенциально выгодных и перспективных проектов, недостаточному количеству инноваций. Эффективность венчурного рынка зависит от сбалансированной деятельности субъектов рынка, таких как: венчурных и инвестиционных фондов, фондов прямых инвестиций, бизнес-ангелов (БА), объединения БА, имеющих общую цель – способствовать развитию инновационных непубличных компаний стартовых стадий.

Распределение венчурных инвестиций по стадиям в США

В США объем инвестиций БА в 2010 г., без учета государственных фондов поддержки, составил около \$ 20,1 млрд, что сопоставимо с объемом инвестиций венчурных фондов (около \$ 23 млрд). В денежном выражении БА инвестируют в инновационные проекты на стартовых стадиях \$ 6,23 млрд в 2010 г. Учитывая распределение инвестиций по стадиям инновационного проекта венчурных фондов, их объем вложений в проекты на стартовых стадиях насчитывает \$ 1,7 млрд (7,4% инвестиций венчурных фондов) в 2010 г. В результате общий объем инвестиций в проекты на стартовых стадиях венчурного рынка составляет около \$ 8 млрд, или 18% общего объема капитала венчурного рынка. В 2005 и 2006 г.г. доля инвестиций в стартовые стадии достигала 29% и 25% соответственно [8, 9].

Инвесторы стартовых стадий инновационной цепочки готовы вкладывать значительный объем денежных средств и способны передать следующему звену большее число потенциально выгодных инно-

вационных проектов. Общий объем инвестиций БА в США способствует развитию более 60 тыс. инновационных компаний в год, к примеру, все венчурные фонды США инвестируют только 3–4 тыс. проектов в год. Такой объем капитала на посевной стадии и стадии старт-ап «генерирует» значительный поток инновационных проектов, получивших средства для развития, следовательно, количество инноваций, способных перейти на другие стадии развития, увеличивается. Объем инвестиций двух субъектов венчурного рынка США (БА и венчурные фонды) может относительно сбалансированно поддержать инновационные проекты на всех стадиях развития (рис. 2).

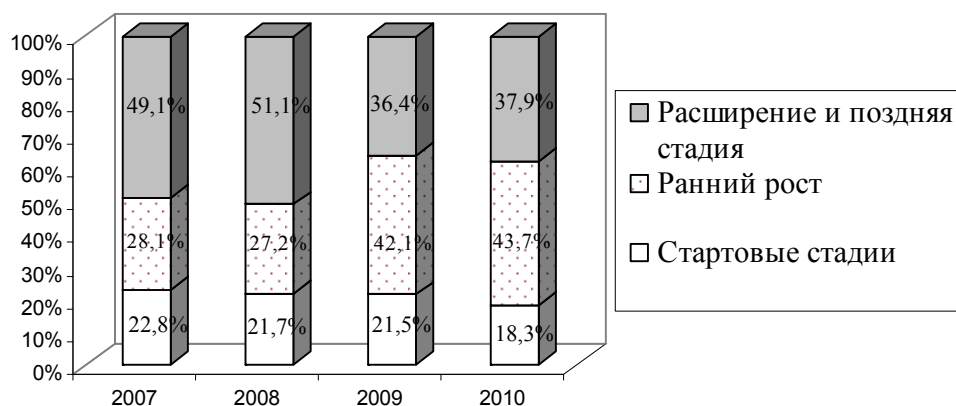


Рис. 2. Распределение венчурных инвестиций по стадиям инноваций в США

Распределение венчурных инвестиций по стадиям в России

В российском инновационном секторе экономики объем инвестиций венчурного рынка значительно меньше, чем в США, и составляет \$ 2,5 млрд в 2010 г., при этом необходимо отметить значительные темпы роста капитализации венчурного рынка и объема инвестиций в РФ. В 2007 г. и 2008 г. объем инвестиций достигал \$ 1,02 и \$ 1,47 млрд соответственно, в посткризисный 2009 г. объем инвестиций составил \$ 0,5 млрд. Однако на начальные стадии инноваций в 2010 г. приходится лишь \$ 20 млн, около 1%, при этом в 2008 г. эта доля составляла 4,6% [10]. Недостаточное количество инновационных проектов для венчурных фондов в РФ объясняется недостаточным количеством инвесторов, способных разделить риски на посевной стадии и стадии старт-ап.

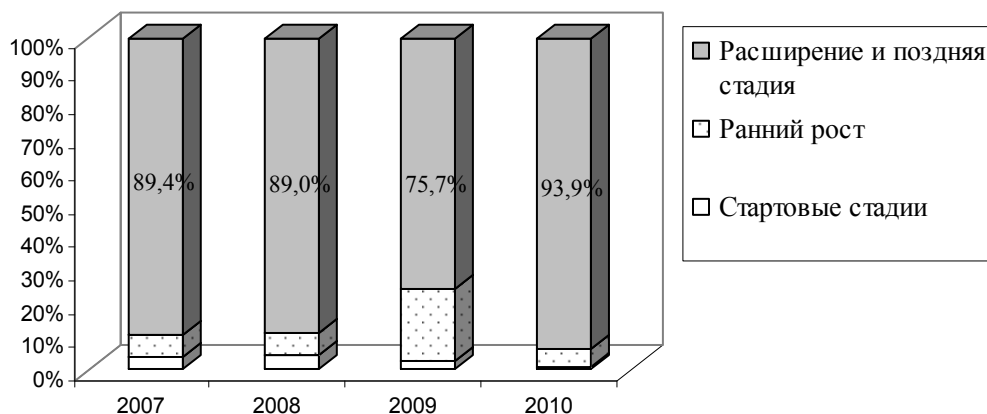


Рис. 3. Распределение венчурных инвестиций по стадиям инноваций в РФ

Объем инвестиций БА в России очень сложно оценить, но по данным содружества бизнес-ангелов России (СБАР) общий объем бизнес-ангельского инвестирования в РФ на 2007 г. составляет около \$ 18 млн [11, 12]. С учетом 4 млрд руб. инвестиций, выделяемых на инновационные проекты государственными структурами – Фондом содействия развитию малых форм предпринимательства в научно-технической сфере («Фонд Бортника» около 1 млрд руб.) и Роснаукой в рамках ФЦНТП (около 3 млрд руб.), общий объем инвестиций достигнет только \$ 160 млн [13].

На рис. 3 видна неравномерность в распределении инвестиций венчурного рынка по стадиям развития инновационных проектов. Значительный объем венчурного капитала приходится на стадии расширения и поздние стадии, общий объем инвестиций этих стадий превышает более чем в 10 раз в 2010 г. объем инвестиций на остальные стадии. Причем ситуация ухудшается: объем финансирования стартовых стадий сокращается.

Государственный фонд фондов

Руководством страны выдвинут ряд концепций для развития инновационного бизнеса страны, выделены крупные денежные средства на их реализацию и поддержку инновационного бизнеса. В основу развития инновационного предпринимательства правительство страны ставит создание крупных финансовых институтов, целью которых является отбор и инвестирование в наиболее конкурентоспособные и потенциально эффективные инновационные проекты. Наиболее крупным фондом для развития этого направления является Российская венчурная компания (РВК).

Российская венчурная компания была создана в 2006 г. Ее юридический статус – акционерное общество со стопроцентным государственным участием, с целью стимулирования создания в России собственной индустрии венчурного инвестирования, развития инновационных отраслей экономики и продвижения на международный рынок российских наукоемких технологических продуктов [14]. В соответствии с учредительными документами РВК осуществляет государственную поддержку венчурных инвестиций, приобретая инвестиционные паи венчурных фондов – закрытых паевых инвестиционных фондов особо рискованных (венчурных) инвестиций (ЗПИФ ОР(В)И), и каждым из них должна управлять специальная частная управляющая компания, отобранная на конкурсе.

Таким образом, РВК выступает в качестве «фонда фондов», т.е. самостоятельно не финансирует никаких проектов, а выбирает несколько негосударственных инвесторов, которые будут финансировать рискованные проекты на свои средства и на средства РВК. Данный способ стимулирования венчурного инвестирования выделяется стремлением к снижению бюрократизации в этой сфере и к рыночному механизму взаимодействия государства и частного бизнеса. Теоретически механизм отлажен, но на практике на сотрудничество с РВК согласились не все венчурные фонды, а победителями конкурса стали компании, известные и успешные на финансовом и фондовом рынке, но ничем не проявившие себя в сфере инноваций [15].

Можно сделать вывод, что теоретически правильно задуманный механизм стимулирования венчурного инвестирования, поиска потенциально эффективных и рискованных проектов превратился на практике в очередной «денежный мешок», целью которого является минимизация рисков, развитие уже устоявшихся отраслей и увеличение капитализации венчурных фондов, вкладывающих свой капитал преимущественно в инновации на поздних стадиях. Общая капитализация всех венчурных фондов ЗПИФ ОР(В)И с участием РВК к 2010 г. составляет 23 млрд руб., объем инвестиций – 5,148 млрд руб.

Новым направлением деятельности РВК в октябре 2009 г. становится создание «фонда, ориентированного на посевное финансирование инновационных проектов на самой ранней стадии» – ООО «Фонд посевных инвестиций Российской венчурной компании» (ФПИ), в состав учредителей фонда вошли ОАО «РВК» (99%) и Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (1%). Инвестиции в компании посевной стадии развития предоставляются при условии, что не менее 25% необходимых такой компании средств поступают от частных инвесторов.

Основные параметры ФПИ:

- соинвестирование средств осуществляется совместно с частными инвесторами;
- фонд предоставляет не более 75% от объема инвестиционной потребности инновационной компании в денежных средствах и не более 25 млн руб. на первом раунде инвестирования;
- деятельность осуществляется во взаимодействии с системой венчурных партнеров фонда.

К декабрю 2011 г. в инвестиционный портфель ФПИ насчитывает около 40 проектов. Основной сложностью при инвестировании инновационных проектов остается поиск частных инвесторов, готовых вложить 25% требуемых средств. Суммарный размер фонда составляет всего 2 млрд руб., что в 11 раз меньше фондов ЗПИФ ОР(В)И. В 2010 г. объем инвестиций ФПИ составил 370 млн руб. – в 13,9 раз меньше, чем ЗПИФ ОР(В)И. Эффективность данного механизма пока сложно оценить, но цель, методы и схема государственно-частного инвестиционного партнерства ФПИ РВК выглядит достаточно перспективной и может в будущем увеличить количество потенциально выгодных инновационных проектов, хотя объем инвестиций остается незначительным.

Результаты инвестиционной деятельности РВК отражают общую ситуацию на венчурном рынке РФ, где объем инвестиций в стартовые стадии значительно меньше инвестиций в более поздние стадии.

Заключение

В результате сложившейся ситуации венчурный рынок Российской Федерации сталкивается с нехваткой инновационных проектов на поздних стадиях, так как число проектов, получивших поддержку на ранних стадиях, незначительно. Инвестиционный потенциал существующих субъектов венчурного рынка значительно превышает предложение перспективных проектов на стартовой и ранней стадии инноваций. Инвесторы стартовых стадий инвестиционной цепочки венчурного рынка не способны «генерировать» требуемое число инновационных проектов. В венчурном секторе экономики имеется дефицит инвестиций и инвесторов на начальных стадиях и стадиях раннего роста, при этом венчурный рынок относительно перенасыщен капиталом венчурных фондов на поздних стадиях.

В современной России, с низким уровнем предпринимательской активности, высокими бюрократическими барьерами и высокой ценой на капитал, помощь необходима на стартовой стадии. Именно на этой стадии в системе развития инновационной сферы России существует «провал».

Видимо, для России актуальной задачей является создание дополнительного механизма инвестирования на стартовых стадиях инноваций – инновационной благотворительности [16]. Целью инновационной благотворительности является стимулирование предпринимательской и научной деятельности в венчурной сфере, принимая на себе большую часть инвестиционных рисков. В этой роли могут выступить крупные корпоративные или частные фонды, физические и юридические лица, готовые инвестировать в научные разработки, инновационные проекты, не ставящие перед собой задачи получения немедленного дохода от проекта, а ориентированные на стимулирование венчурной деятельности, развитие научных изысканий, появление новых технологий, сегментов рынка. Такой род инновационной деятельности можно назвать инновационной благотворительностью.

Изначальная ставка государства на венчурные фонды и разнообразные государственные фонды развития стала одной из причин перенасыщения венчурного рынка капиталом на поздних стадиях инноваций. Успешному развитию венчурной индустрии Российской Федерации необходима сбалансированная система инвестиционной деятельности на всех стадиях инноваций. Требуется значительное увеличение объемов инвестиций на начальных стадиях и стадии раннего роста. Для этого необходимо развитие существующих субъектов венчурного рынка, готовых вкладывать средства на стартовых стадиях, особые льготные экономические условия для привлечения инвесторов, создание новых механизмов инвестирования, образовательные и консалтинговые проекты, направленные на поддержку инфраструктуры венчурных инвестиций, преобладающее предоставление инвестиций венчурными фондами с государственным участием инновационным проектам на стартовых стадиях. Данные механизмы должны привлечь в инновационные проекты на стартовых стадиях развития значительные материальные и нематериальные средства.

Литература

1. Друкер П.Ф. Бизнес и инновации: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2007. – 432 с.
2. Салимьянова И.Г. Методологические аспекты построения национальной инновационной системы: монография. – СПб: СПбГИЭУ, 2011. – 226 с.
3. Цветков А.Н. Инновационный империтив для России: монография. – СПб: СПбГИЭУ, 2010. – 218 с.
4. Янсен Ф. Эпоха инноваций. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 308 с.
5. Балабанов И.Т. Инновационный менеджмент: Учебное пособие для вузов. – СПб: Питер, 2000. – 208 с.
6. Бенджамин Дж.А. Руководство для бизнес-ангелов: как получить прибыль, инвестируя в растущий бизнес: Пер. с англ. – М.: Вершина, 2007. – 320 с.
7. Кристенсен К. Решение проблемы инноваций в бизнесе. Как создать бизнес и успешно поддерживать его рост. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. – 200 с.
8. National Venture Capital Association Yearbook 2011. – Thomson Reuters. – 2011. – 114 p.
9. Sohl J. The Angel Investor Market in 2010: A Market on the Rebound. – Center for Venture Research – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wsbe.unh.edu/sites/default/files/2010_analysis_report.pdf, свободный. Яз. англ. (дата обращения 04.10.2011).
10. Обзор рынка прямых и венчурных инвестиций в России в 2010 году: Аналитический сборник // РА-ВИ. – М., 2011. – С. 178.
11. Каширин А.И., Семенов А.С. В поисках бизнес-ангела. Российский опыт привлечения стартовых инвестиций. – М.: Вершина, 2007. – 386 с.
12. Национальное содружество бизнес-ангелов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russba.ru/goals-objectives/>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 21.01.2012).
13. Бердашкевич А.П., Клепиков С.А. Бюджетная и организационная поддержка науки в России // Инновация. – 2011. – № 2. – С. 41–49.
14. Российская венчурная компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rusventure.ru/>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 21.01.2012).
15. Паппэ Я., Дранкина Е. Как развивают Россию: «денежные мешки» // Журнал «Коммерсантъ Деньги». – М., 2008. – № 37 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kommersant.ru/Doc/1028222>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 10.11.2011).
16. Шевелев Г.С. Инновационная благотворительность как механизм стимулирования инновационной деятельности // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия Экономика. – 2010. – Вып. № 5 (40). – С. 288–291.

Шевелев Георгий Сергеевич – ООО «Северная Венеция», коммерческий директор, соискатель, shev8@yandex.ru

УДК 004.9

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ КОМПЕТЕНТНОСТИ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОСНОВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВУЗА

А.А. Першин

Предложена модель управления проектами компетентностно-ориентированных основных образовательных программ вуза, рассмотрены ее основные компоненты. Описана структура компетентностно-ориентированной основной образовательной программы и структура компетентностной модели выпускника. Показан поэтапный механизм формирования компетентностной модели выпускника.

Ключевые слова: модель управления, основная образовательная программа, компетентностная модель выпускника.

Введение

Компетентностный подход к образованию прочно входит в сферу высшего образования. В связи с этим возникают новые требования к процессу проектирования компетентностно-ориентированных основных образовательных программ (ООП), реализующих федеральные государственные стандарты (ФГОС) высшего профессионального образования (ВПО) для двухуровневой подготовки выпускников вуза (бакалавр, магистр). Одна из главных задач компетентностного подхода – выявить и включить в образовательную траекторию то, без чего подготовка специалиста не может состояться, что необходимо и достаточно знать и уметь делать будущему специалисту [1]. Из этой задачи вытекает требование к устранению избыточности содержания образования при проектировании компетентностно-ориентированных ООП. Другая задача – задача переориентации образовательного процесса с возможностей и желания преподавателей на ожидания студентов – ожидания того, что они будут уметь делать в сфере своей профессиональной деятельности после окончания подготовки в вузе [2]. Из этой задачи вытекает необходимость учитывать требования рынка при проектировании компетентностно-ориентированных ООП. Так как требования рынка постоянно меняются, то появляется необходимость постоянной актуализации компетентностно-ориентированных ООП.

В работе рассматривается модель управления проектами компетентностно-ориентированных ООП, в которой учитываются вышеперечисленные требования устранения избыточности содержания образования, соответствия запросам рынка и ожиданиям выпускника, постоянной актуализации.

Структура модели управления

Рассмотрим основные компоненты (рис. 1) модели управления проектами компетентностно-ориентированных ООП вуза.

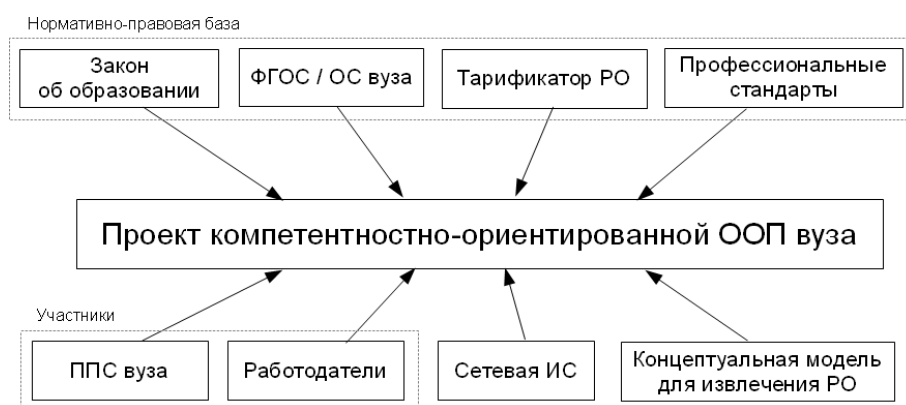


Рис. 1. Основные компоненты модели управления

Компетентностно-ориентированные ООП разрабатываются в соответствии с законами об образовании Российской Федерации и ФГОС ВПО. В описываемой модели управления при формировании проектов ООП используются следующие данные из ФГОС: требования к результатам освоения ООП, представляющие из себя перечень общекультурных и профессиональных компетенций выпускника, и требования к структуре и трудоемкости ООП.

Некоторые вузы имеют право разрабатывать и использовать собственные образовательные стандарты (ОС), поэтому модель предусматривает возможность формирования проектов ООП на базе ОС

вуза. В ОС вуза результаты освоения ООП должны быть заданы в компетентностном формате, а также должно быть установлено соответствие между компетенциями выпускника ОС и ФГОС соответствующего направления и уровня подготовки.

Также при разработке проектов компетентностно-ориентированных ООП учитываются требования профессиональных стандартов в соответствующих предметных областях. Профессиональные стандарты описывают должностные обязанности, профессиональные компетенции, требования к уровню образования, стажу работы и сертификации в соответствии с квалификационными уровнями [3].

Таким образом, в описываемой модели компоненты «ФГОС», «ОС вуза» и «Профессиональные стандарты» используются в качестве источника исходных данных для разработки проектов компетентностно-ориентированных ООП. Компоненты «Закон об образовании», «ФГОС» и «ОС вуза» также обеспечивают соответствие проектов компетентностно-ориентированных ООП нормативно-правовой базе, а компонент «Профессиональные стандарты» способствует выполнению требования по соответствию проектов ООП запросам рынка.

Единый тарификатор результатов обучения (РО) университета используется для задания уровня освоения компетенций выпускника [4]. Тарификатор РО является удобным инструментом для разбиения на этапы процесса формирования компетенций выпускника, а также позволяет более точно описывать требования к освоению РО. Благодаря более точному описанию требований к освоению РО использование тарификатора РО способствует устранению избыточности содержания образования.

Разработка проектов компетентностно-ориентированных ООП ведется профессорско-преподавательским составом (ППС) вузов в тесном взаимодействии с работодателями, занимающими приоритетное положение на рынке труда. Таким образом, компоненты модели «ППС вуза» и «Работодатели» обеспечивают выполнение требования по соответствию проектов компетентностно-ориентированных ООП запросам рынка, а также способствуют выполнению требования по постоянной актуализации проектов компетентностно-ориентированных ООП.

Разработка проектов компетентностно-ориентированных ООП производится в соответствии с концептуальной моделью для извлечения результатов обучения из избыточного содержания образования в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики (НИУ ИТМО) [5], которая обозначена на рисунке как «Концептуальная модель для извлечения РО». Этот компонент обеспечивает систематизацию разработки компетенций выпускника ООП и результатов их освоения.

Еще одним компонентом представленной модели управления является специализированная сетевая информационная система (ИС), которая предоставляет:

- инструментарий для разработки ОС вуза с заданием соответствия компетенций выпускника ОС и ФГОС соответствующего направления и уровня подготовки;
- инструментарий для разработки основных компонентов проектов компетентностно-ориентированных ООП на базе ФГОС или ОС вуза, построенный в соответствии с концептуальной моделью для извлечения РО НИУ ИТМО;
- инструментарий для разноплановой диагностики проектов ООП;
- инструментарий для управления версиями проектов ООП, позволяющий вести непрерывную актуализацию ООП;
- возможность для участия в разработке ООП как преподавателей вузов, так и потенциальных работодателей выпускников ООП.

Главной задачей, которую решает сетевая ИС, является обеспечение возможности непрерывной актуализации проектов ООП, так как проведение актуализации проектов ООП в ручном режиме с периодичностью раз в год представляется крайне затруднительной. Помимо этого, сетевая ИС обеспечивает соответствие проектов компетентностно-ориентированных ООП нормативно-правовой базе. Благодаря средствам диагностики, встроенным в ИС, появляется возможность снизить избыточность содержания образования в проектах компетентностно-ориентированных ООП. А благодаря возможности работы в системе работодателей повышается степень соответствия разрабатываемых проектов запросам рынка.

Проект компетентностно-ориентированной ООП

Рассмотрим структуру проекта компетентностно-ориентированной ООП более подробно (рис. 2). В него входят следующие компоненты: компетентностная модель выпускника (КМВ), проекты рабочих программ дисциплин, учебный план.

КМВ представляет из себя перечень компетенций выпускника, для каждой из которых с помощью тарификатора РО задан ожидаемый уровень их освоения к моменту завершения ООП. В простейшем случае КМВ состоит из компетенций выпускника, заданных в перечне общекультурных и профессиональных компетенций выпускника соответствующего ФГОС. КМВ управляет разработкой проектов рабочих программ дисциплин: в заданиях на разработку проектов рабочих программ дисциплин содержится перечень компетенций выпускника из КМВ с указанием уровня освоения данных компетенций, ожи-

даемого после завершения дисциплины. Также КМВ влияет на учебный план, так как дисциплины, формирующие компетенции выпускника, должны следовать в определенном порядке.

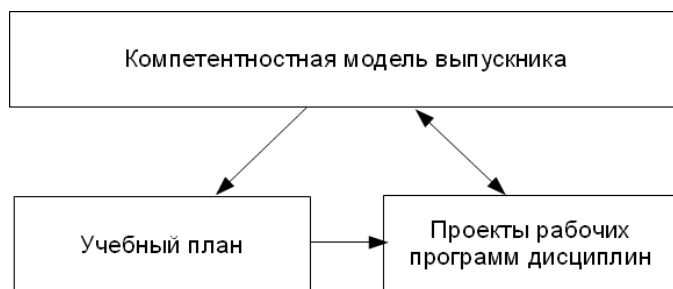


Рис. 2. Структура проекта компетентностно-ориентированной ООП

Пример 1. Ситуация, когда учебный план составлен неверно и нуждается в корректировке.

В исходном учебном плане дисциплина Д1 была запланирована раньше дисциплины Д2. Однако после разработки рабочих программ для этих дисциплин выяснилось, что дисциплина Д1 формирует компетенцию выпускника КВ1 на углубленном уровне (ЗЗ-УЗ-ЛК1), а дисциплина Д2 формирует ту же компетенцию выпускника КВ1 на базовом уровне (ЗЗ-У2-ЛК1). Очевидно, что при таком расположении дисциплин в учебном плане нарушается процесс формирования уровня освоения компетенции КВ1, так как более высокий уровень освоения должен формироваться на базе более низкого. Для устранения подобного несоответствия необходимо внести исправления в учебный план, переместив дисциплину Д1 после дисциплины Д2.

Структура КМВ

Рассмотрим более подробно структуру КМВ (рис. 3). Как уже говорилось выше, КМВ представляет собой перечень компетенций выпускника с заданным с помощью тарификатора РО планируемым уровнем освоения. Компетенции выпускника в КМВ делятся на три группы:

1. компетенции выпускника из ФГОС/ОС вуза;
2. составные компетенции выпускника;
3. дополнительные компетенции выпускника.

Формулировки компетенции выпускника из ФГОС/ОС вуза берутся из соответствующих стандартов. Следует отметить, что в КМВ должен содержаться весь перечень компетенций выпускника, заданный в соответствующем ФГОС/ОС.

Составные компетенции выпускника получают за счет дробления компетенции выпускника из ФГОС/ОС вуза на несколько формулировок компетенций и задания для этих компетенций разного планируемого уровня освоения.

Пример 2. Получение составных подкомпетенций.

ФГОС по направлению 230400 «Информационные системы и технологии» содержит компетенцию ПК-12: «способность разрабатывать средства реализации информационных технологий (методические, информационные, математические, алгоритмические, технические и программные)». Вполне очевидно, что данную компетенцию можно легко разбить на несколько подкомпетенций: «способность разрабатывать методические средства реализации информационных технологий», «способность разрабатывать информационные средства реализации информационных технологий» и т.д. Если в компетентностно-ориентированной ООП, реализующей данный ФГОС, планируется освоение части подкомпетенций ПК-12 на базовом уровне (ЗЗ-У2-ЛК1), а части подкомпетенций на углубленном (ЗЗ-У3-ЛК1), то целесообразно разбить данную компетенцию на составные. Получится следующий перечень:

ПК-12.1 способность разрабатывать методические средства реализации информационных технологий (ЗЗ-У2-ЛК1);

...

ПК-12.6 способность разрабатывать программные средства реализации информационных технологий (ЗЗ-У3-ЛК1).

Таким образом, благодаря использованию составных компетенций выпускника в КМВ можно более точно задавать планируемые результаты освоения компетенций выпускника, а также учесть специфику профиля компетентностно-ориентированной ООП.

Дополнительные компетенции выпускника в КМВ используются, в основном, для задания профильного содержания образования компетентностно-ориентированной ООП. Они используются, например, тогда, когда данное содержание не отражено в соответствующих ФГОС/ОС. Для этих компетенций также задается планируемый уровень освоения.

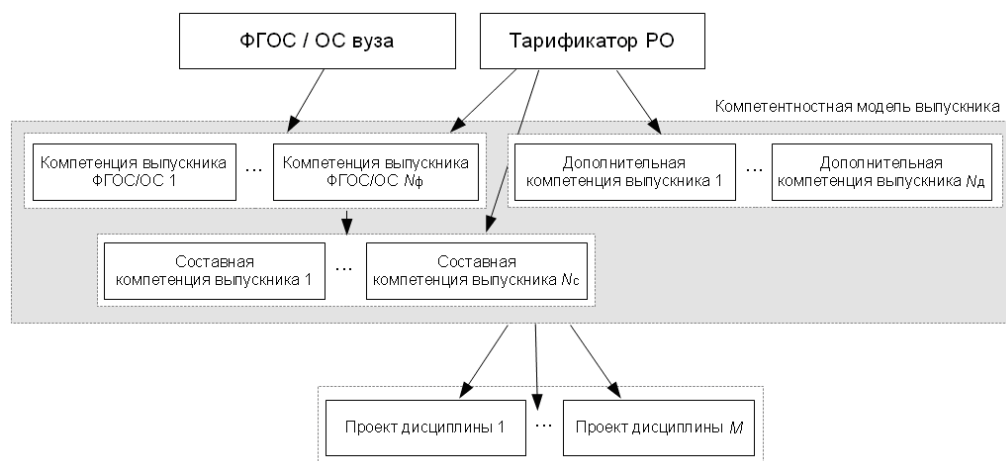


Рис. 3. Структура КМВ в проекте компетентно-ориентированной ООП

Компетенции выпускника из ФГОС/ОС вуза, составные компетенции выпускника, дополнительные компетенции выпускника можно условно назвать «компетенциями КМВ первого уровня». Компетенции КМВ первого уровня с заданным ожидаемым уровнем РО являются основой для разработки составляющих компетенций выпускника в дисциплине, а также результатов их освоения. Методики разработки составляющих компетенций выпускника в дисциплине и результатов их освоения описаны в [4].

Разработанные проекты дисциплин включаются в КМВ (рис. 4), и для каждой компетенции КМВ первого уровня накапливается перечень формирующих ее составляющих компетенций выпускника и результатов их освоения. Результаты освоения составляющих компетенций задаются в виде знаний, умений и навыков, формулируемых в компетентностном формате. Составляющие компетенции выпускника можно условно назвать «компетенциями КМВ второго уровня».

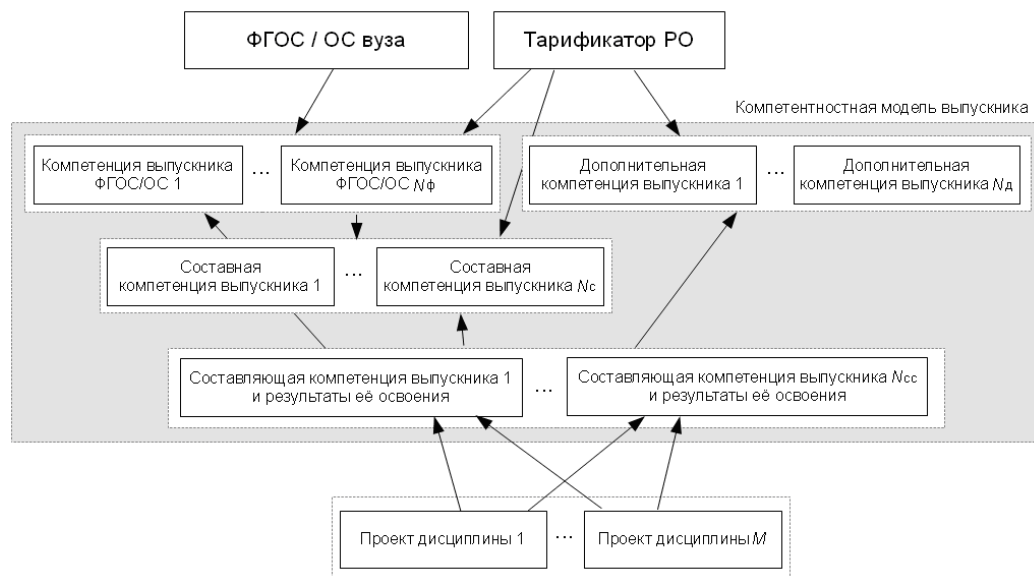


Рис. 4. Включение в КМВ составляющих компетенций выпускника и результаты их освоения

Заключение

Изложенная в работе модель управления служит для построения проектов компетентно-ориентированных ООП в сетевой информационно-образовательной среде вуза. Проекты компетентно-ориентированных ООП формируются в соответствии с законом об образовании на базе ФГОС (ОС вуза) с использованием тарификатора результатов обучения вуза и учетом требования профессиональных стандартов, что обеспечивает соответствие проектов нормативно-правовой базе. Участниками разработки проектов ООП являются профессорско-преподавательский состав вуза и работодатели, что обеспечивает соответствие проектов запросам рынка. Разработка проектов ООП ведется в соответствии с концептуальной моделью для извлечения результатов обучения НИУ ИТМО с использованием специализированной сетевой информационной системы, что снижает избыточность содержания образования и обеспечивает возможность постоянной актуализации.

В рамках проекта ООП основными объектами разработки являются КМВ и проекты рабочих программ дисциплин. Процесс их формирования тесно взаимосвязан: КМВ является источником исходных данных для разработки проектов рабочих программ дисциплин, а рабочие программы дисциплин, в свою очередь, являются источником составляющих компетенций выпускника и результатов их освоения для КМВ.

Литература

1. Лисицына Л.С. Теория и практика компетентностного обучения и аттестаций на основе сетевых информационных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 147 с.
2. Лисицына Л.С. Методология проектирования модульных компетентностно-ориентированных образовательных программ. Методическое пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 50 с.
3. Профессиональные стандарты в области информационных технологий. – М.: АП КИТ, 2008. – 616 с.
4. Лисицына Л.С., Лямин А.В., Шехонин А.А. Разработка рабочих программ дисциплин (модулей) в составе основных образовательных программ, реализующих ФГОС ВПО. Методическое пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 63 с.
5. Васильев В.Н., Лисицына Л.С., Шехонин А.А. Концептуальная модель для извлечения результатов обучения из избыточного содержания образования // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 4 (68). – С. 104–108.

Першин Александр Александрович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, pershin_zan@mail.ru

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 535.324.2; 535.327

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ И ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ

Н.П. Белов, С.Н. Лапшов, А.Ю. Патяев, А.С. Шерстобитова, А.Д. Яськов

На уровне требований промышленных рефрактометрических технологий приведены данные по температурной зависимости показателя преломления и температурному коэффициенту показателя преломления в диапазоне температур от 10°C до 60°C водных растворов этиленгликоля и пропиленгликоля с концентрацией от 0% до 100%.

Ключевые слова: показатель преломления, температурный коэффициент, этиленгликоль, пропиленгликоль.

Водные растворы этиленгликоля и пропиленгликоля применяются в современных аэропортах для предполетной противообледенительной обработки корпусов самолетов [1]. Для контроля концентрации k растворов в процессе такой обработки перспективно использование погружных рефрактометрических датчиков, аналогичных [2–4], что требует достоверных данных по показателю преломления $n(k)$ и его температурному коэффициенту $dn(k)/dT$ в рабочем диапазоне температур растворов $T = 10\text{--}60^\circ\text{C}$. Если показатель преломления $n(k)$ здесь определен вполне достоверно (по данным, по крайней мере, трех независимых работ [5–7], где сходимость результатов измерений составляла в худшем случае 0,001), то измеренные величины $dn(k)/dT$ имеют значительные расхождения случайного характера [5].

Цель работы – измерение температурного коэффициента $dn(k)/dT$ в таких средах при различных массовых концентрациях растворов $k = 0\text{--}100\%$ в диапазоне температур $T = 10\text{--}60^\circ\text{C}$, определяемых требованиями практической рефрактометрии. Измерение показателя преломления $n(T)$ производилось в лабораторных условиях с использованием рефрактометра УРЛ-1 и термостата прокачного типа MLW U2^C. Исследованные растворы готовились на основе этиленгликоля и 1,2-пропиленгликоля марок ОСЧ. Погрешность измерения показателя преломления была не более 0,0003.

Результаты измерений температурных зависимостей показателя преломления $n(T)$ для растворов с различной массовой концентрацией этиленгликоля и 1,2-пропиленгликоля показаны точками на рис. 1, а и рис. 1, б, соответственно. При температурах до 60°C зависимости были близки к линейным. Результаты линейной интерполяции показаны на рис. 1 сплошными линиями. На поле рисунка приведены также соответствующие интерполяционные формулы и значения среднеквадратичной сходимости результатов расчетов и экспериментов. Погрешность линейной интерполяции составляла не более 0,00154 для концентраций k менее 5%, и не более 0,00085 при больших значениях k . При этом погрешность температурной корректировки показаний рефрактометра по шкале концентраций Δk не превышала 1,7%, что вполне приемлемо для рефрактометрических технологий контроля данных водных растворов.

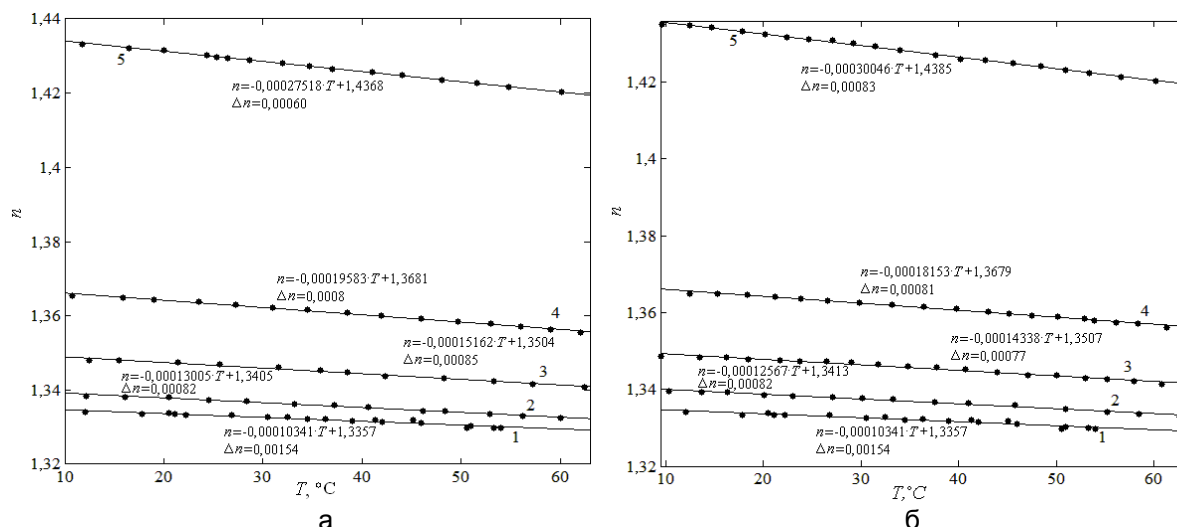


Рис. 1. Температурная зависимость показателя преломления водных растворов этиленгликоля (а) и 1,2-пропиленгликоля (б). Концентрация растворов k , %: 1 – 0,00, 2 – 5,23, 3 – 14,87, 4 – 31,36, 5 – 100,00 (а); 1 – 0,00, 2 – 4,55, 3 – 13,45, 4 – 27,62, 5 – 100,00 (б).

Точки – экспериментальные данные, сплошные линии – результаты линейной интерполяции

Зависимость температурного коэффициента показателя преломления dn/dT от концентрации растворов k до 60% представлена на рис. 2. Погрешность измерений для этиленгликоля и 1,2-пропиленгликоля была сопоставимой с погрешностью измерений $n(T)$. Полученные зависимости dn/dT от

концентрации имеют существенно нелинейный характер. Вместо используемой для большинства сред линейной температурной коррекции рефрактометрических данных может быть применена квадратичная коррекция (рис. 2, сплошная линия). Соответствующая интерполяционная формула приведена на поле рисунка.

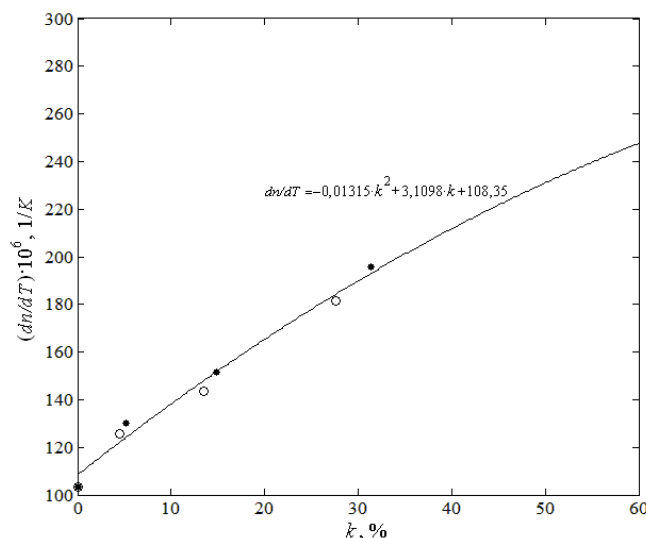


Рис. 2. Зависимость температурного коэффициента показателя преломления от концентрации водных растворов этиленгликоля (•) и 1,2-пропиленгликоля (○). Точки – экспериментальные данные, сплошная линия – квадратичная интерполяция

Таким образом, установлено, что температурный коэффициент dn/dT нелинейно зависит от концентрации водных растворов этиленгликоля и 1,2-пропиленгликоля. Получена интерполяционная формула. Приведенные данные позволяют уточнить температурную коррекцию показаний рефрактометрических датчиков при противообледенительной обработке корпусов самолетов.

1. Жидкости для антиобледенительной обработки самолетов // Новые химические технологии. Аналитический портал химической промышленности. – Соп. 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=7509, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 15.10.2011).
2. Refracto 30GS. Портативный рефрактометр с расширенным диапазоном измерений // Mettler-Toledo International Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.mt.com/ru/ru/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/Refractometry_Family_Browse_main/Portable_Refractometer_Family_browse_main/Refracto_30GS_1.html, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 17.10.2011).
3. Eclipse «Professional» Hand-Held Refractometer // Xylem Corporation. – Соп. 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.globalw.com/products/eclipse.html>, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 17.10.2011).
4. De-icing of aeroplanes. Automatic Digital Refractometer RX-5000a // Essex Scientific Laboratory Supplies Ltd. – Соп. 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.esslab.com/atego/atego-CS-de-icing.htm>, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 17.10.2011).
5. Tsierkezos N.G., Molinou I.E. Thermodynamic Properties of Water + Ethylene Glycol at 283.15, 293.15, 303.15, and 313.15 K // J. Chem. Eng. Data. – 1998. – V. 43. – P. 989–993.
6. Zhou Y., Li S., Zhai Q., Jiang Y., Hu M. Compositions, Densities, and Refractive Indices for the Ternary Systems Ethylene Glycol + NaCl + H₂O, Ethylene Glycol + KCl + H₂O, Ethylene Glycol + RbCl + H₂O, and Ethylene Glycol + CsCl + H₂O at 298.15 K // J. Chem. Eng. Data. – 2010. – V. 55. – P. 1289–1294.
7. Дымонт О.Н., Казанский К.С., Мирошников А.М. Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена. – М.: Химия, 1976. – 376 с.

Белов Николай Павлович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, старший научный сотрудник, ttoe@hotmail.ru

Лапшов Сергей Николаевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, serglapshov@gmail.com

Патяев Александр Юрьевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, neverfall86@gmail.com

Шерстобитова Александра Сергеевна – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, ассистент, ashev87@mail.ru

УДК 681.324

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА РАЗРАБОТЧИКА БОРТОВОГО АВИАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ю.А. Гатчин, И.О. Жаринов, О.О. Жаринов

Рассматривается архитектура программного обеспечения рабочего места разработчика бортового авиационного оборудования. Приведена схема и описаны основные функциональные составляющие, входящие в состав специализированной системы автоматизированного проектирования, используемой на авиационном предприятии.

Ключевые слова: бортовое оборудование, автоматизация проектирования, программное обеспечение.

Эффективная инструментальная поддержка решения задач проектирования бортового авиационного оборудования является сегодня залогом успеха деятельности промышленного предприятия авиационной отрасли. Ключевая роль в процессе проектирования бортового оборудования отводится программным средствам, используемым в автоматизированных рабочих местах (АРМ) разработчиков.

Среди наиболее известных и внедренных на производстве систем автоматизации проектирования (САПР) традиционно рассматриваются SolidWorks, Inventor, Pro/ENGINEER, AutoCAD, ACCEL EDA, XILINX Foundation, MaxPLUS и др., используемые на этапах конструкторского проектирования и технологической подготовки производства. Данным САПР свойственна узкая специализация, что обуславливает необходимость создания на предприятии нескольких разнородных групп АРМ (только конструирование, только электроника). В сквозном технологическом цикле «проектирование–производство» создания бортового оборудования, когда решающим фактором является не только оценка «собираемости» изделия, но и оценка его функционирования на предварительных этапах разработки (до изготовления образца), такое разделение АРМ по видам работ оказывается не всегда целесообразным.

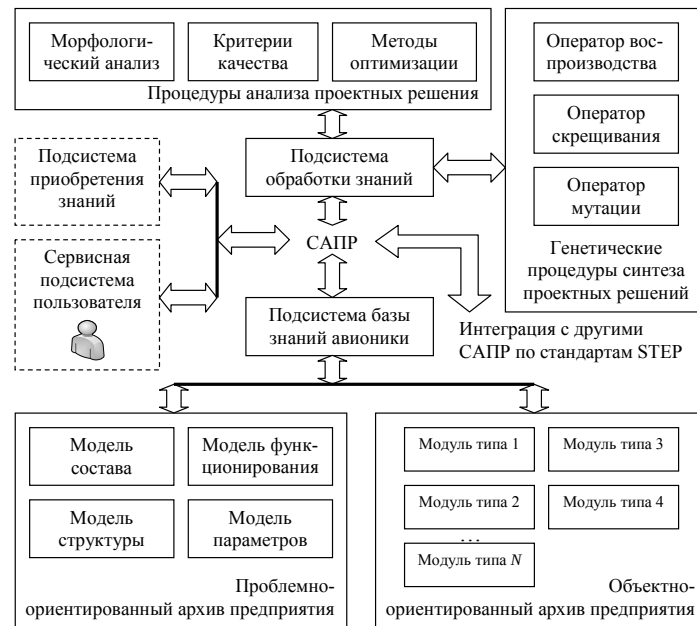


Рисунок. Архитектура программного обеспечения специализированного АРМ разработчика бортового авиационного оборудования

В связи с этим разработчиками предпринимаются попытки создания специализированных САПР, объединяющих возможности АРМ конструирования и АРМ электроники на основе стандартов STEP для отработки технических решений и физических принципов действия будущих изделий еще на стадии их эскизного проектирования. Известна, например, САПР серии «САФАК», разработанная в ЦНИИ 30 Министерства обороны Российской Федерации под руководством проф. В.С. Платунова, для оценки летно-технических качеств перспективных планеров самолетов; САПР серии GSSS, разработанная в Московском энергетическом институте (техническом университете) под руководством проф. В.В. Топоркова, для оценки эффективности архитектур многопроцессорных вычислительных систем.

Аналогичные проектные работы по созданию САПР исследовательских стадий проектирования проводятся авторами в Санкт-Петербургском опытно-конструкторском бюро (ОКБ) «Электроавтоматика» под руководством проф. П.П. Парамонова. Данный вид САПР ориентирован на создание бортового электронного оборудования методами прототипирования и разрабатывается в соответствии с существующими тенденциями развития мировой науки в этой предметной области (в частности, программы США: Joint Advanced Strike Technology (объект F-22), Joint Strike Fighter (объект F-35)).

Архитектура программного обеспечения АРМ разработчика бортового авиационного оборудования, проектируемая сегодня в ОКБ «Электроавтоматика», представлена на рисунке. В состав специализированной САПР входят:

- подсистема обработки знаний на основе процедур генерации и анализа проектных решений, математический аппарат которых описан авторами в работах [1] (генерация) и [2, 3] (анализ, критерий и методы оптимизации проектных решений);
- подсистема базы знаний, включающая проблемно-ориентированные и объектно-ориентированные модели изделий на предприятии, описанные авторами в работах [4, 5];
- подсистема приобретения знаний, ориентированная на процесс обучения САПР и расширение ее функциональных возможностей;
- сервисная подсистема, ориентированная на интерактивное взаимодействие пользователя и оболочки САПР на инструментальной ЭВМ АРМ.

Использование на предприятии такой САПР позволяет осуществлять нисходящее проектирование электронных изделий авионики на основе принципов агрегации различных унифицированных конструктивно-функциональных модулей с одновременной проверкой проектных решений как на функциональную работоспособность, так и на соответствие требованиям технического задания.

1. Шек-Иовсепянц Р.А., Жаринов И.О. Генерация проектных решений бортового оборудования с использованием аппарата генетических алгоритмов // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 3. – С. 67–70.
2. Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Метод автоматизированного проектирования аппаратных средств бортового оборудования // Изв. вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53. – № 5. – С. 5–10.
3. Сабо Ю.И., Жаринов И.О. Критерий подобия проектных решений требованиям технического задания в авионике // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 3. – С. 57–63.
4. Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – № 1. – С. 12–20.
5. Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 1. – С. 2–5.

Гатчин Юрий Арменакович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, gatchin@ifmo.ru

Жаринов Игорь Олегович – ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П. А. Ефимова», доктор технических наук, доцент, начальник отдела, igor_rabota@pisem.net

Жаринов Олег Олегович – Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кандидат технических наук, доцент, zharinov@hotmail.ru

УДК 681.324

РЕАЛИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ-ПРОИЗВОДСТВО-ЭКСПЛУАТАЦИЯ» БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.Ю. Гатчин, И.О. Жаринов, О.О. Жаринов, П.А. Косенков

Рассматривается технология поддержки жизненного цикла авиационной продукции в объеме «проектирование-производство-эксплуатация». Приведена схема взаимодействия изготовителей, поставщиков и эксплуатантов бортового оборудования и структура учетной записи продукции в корпоративной электронной базе данных.

Ключевые слова: бортовое оборудование, логистика, проектирование-производство-эксплуатация.

Современная отечественная авиационная промышленность объединяет разработчиков – опытно-конструкторские бюро (ОКБ), изготовителей – серийные предприятия и эксплуатантов – воинские части Минобороны (МО) Российской Федерации (РФ), авиакомпании гражданской авиации (ГА), летные испытательные базы. Общая схема взаимодействия изготовителей, поставщиков и эксплуатантов авиационной продукции представлена на рисунке. Как следует из схемы, взаимодействие предприятий построено на отношениях «поставщик–потребитель».

Для контроля движения продукции между предприятиями в такой схеме должна быть создана технология логистической поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции (бортового оборудования) в объеме «проектирование–производство–эксплуатация». Такая работа сегодня проводится на предприятиях авиационной промышленности, входящих в состав концерна ОАО «Авиаприборостроение». Ключевым элементом технологии поддержки ЖЦ продукции является корпоративная электронная база данных [1], в которой содержатся учетные записи по всей разрабатываемой, изготавливаемой и эксплуатируемой аппаратуре. Интеллектуальной составляющей технологии является пользовательская среда, в которой на основе учетных записей базы данных осуществляется расчет оптимальных маршрутов дви-

жения продукции между предприятиями, расчет объемов обменных фондов аппаратуры в точках эксплуатации бортового оборудования, анализ загрузки проектных и производственных мощностей.

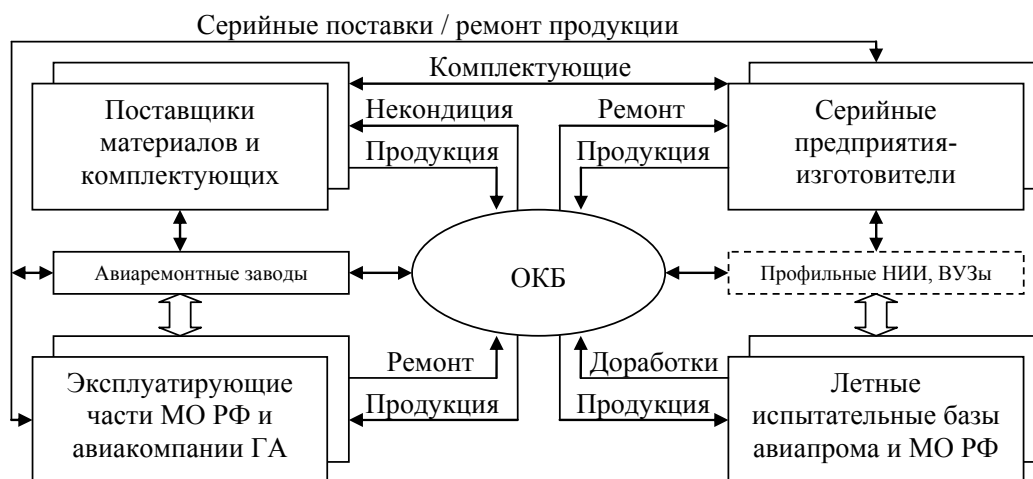


Рисунок. Схема взаимодействия изготовителей, поставщиков и эксплуатантов авиационной продукции

Структура учетной записи на предприятии для изделия любого уровня подчиняется общему иерархическому правилу конструирования сложных технических систем:

Комплектующее → Модуль → Блок → Система → Комплекс → Объект.

Все учетные записи табулируются, образуя при этом базу данных изготовленных и отгруженных в эксплуатацию (на испытания) изделий авиационной промышленности. Пример электронной формы заполнения учетных записей представлен в таблице.

Изделие	Спецификация	Заводской номер	Изготовитель (дата приемки)
1	2	3	4
Модуль МГ41	ИТМО.468173.014	№019365	ОАО «ЭЛАРА», 01.07.2011
...			
Входимость (блок), дата приемки	Входимость (система / комплекс), дата приемки	Движение в эксплуатации, дата установки	Отметки о ремонте
5	6	7	8
Индикатор МФЦИ №0112233440, 01.08.2011	Система индикации СИ №0223366554, 01.09.2011	Объект Су-80ГП №000001, 01.10.2011	—
...			

Таблица. Структура учетной записи авиационной продукции в корпоративном электронном архиве (пример)

Исходными данными для служб материально-технического снабжения является электронный комплект документации [2], подготавливаемый разработчиками ОКБ на этапе разработки рабочей конструкторской документации (проектирования), и заявки потребителей по объемам планируемой к поставкам продукции. Изготовители (опытное производство ОКБ или серийное производство заводов) на основе заключенных договоров осуществляют выпуск и передачу в эксплуатацию (на испытания) кондиционной продукции.

В зависимости от значений показателей надежности эксплуатации аппаратуры и требуемых сроков ее восстановления (расчетным путем или по фактам отказов) определяются по методике [3] необходимые в конкретной точке эксплуатации объемы дополнительной аппаратуры для организации обменного фонда. Оперативные формы восстановления отказавших объектов (путем замены некондиционной аппаратуры) и их технического обслуживания осуществляются непосредственно в эксплуатирующих частях с использованием электронной эксплуатационной документации [4]. Сама отказавшая аппаратура направляется впоследствии изготовителю на ремонт. Исходя из реальных производственных мощностей различных предприятий и поступивших к ним заявок от потребителей, производится оценка соответствия загруженности штата сотрудников и технологического оборудования предприятия, имеющегося в наличии.

Таким образом, в масштабах концерна создаются предпосылки для выявления дублирующих функций различных предприятий и перераспределения потока заявок между предприятиями с целью оптимизации издержек концерна и повышения эффективности его функционирования.

Применение на практике такой технологии поддержки ЖЦ продукции обеспечивает управление производственными службами и службами материально-технического снабжения предприятий авиаци-

онной отрасли, а также координацию и планирование [5] деятельности предприятий-изготовителей (смежников) и эксплуатантов с целью ритмичного обеспечения потребителей кондиционной продукцией, ее своевременного ремонта или замены.

1. Гушин О., Промзелева Т. Организация электронного архива на основе PartY PLUS в ФНПЦ «РПКБ» // САПР и графика. – 2004. – № 1. – С. 54–58.
2. Бычков И., Ващук Ю. Конструкторская спецификация – информационная основа управления предприятием // САПР и графика. – 2001. – № 9. – С. 90–95.
3. РД В 319.01.19-98. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методики оценки и расчета запасов в комплексах ЭИП. – Введ. 01.10.1998. – М.: Госстандарт России. – 88 с.
4. Петров А., Галин И. Электронная эксплуатационная документация: технологии и программные средства разработки и сопровождения // САПР и графика. – 2002. – № 11. – С. 6–8.
5. Чилингаров К. Система TechnologiCS. Переход от автоматизации технической подготовки производства к задачам планирования и управления // САПР и графика. – 2001. – № 11. – С. 39–41.

Гатчин Иван Юрьевич – ОАО «Балтика», инженер, gatchin@mail.ifmo.ru

Жаринов Игорь Олегович – ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П. А. Ефимова», доктор технических наук, доцент, начальник отдела, igor_rabota@pisem.net

Жаринов Олег Олегович – Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кандидат технических наук, доцент, zharinov@hotmail.ru

Косенков Павел Александрович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, ассистент, microtrigger@gmail.com

УДК 621.391

О РАБОТАХ ПО ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ ОТ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

М.И. Жуковский, В.П. Чванов

Изложены предложения авторов по организации и содержанию работ по защите информации от преднамеренных электромагнитных воздействий. Предложения являются основой разработанного проекта ГОСТ.

Ключевые слова: защита информации, электромагнитные воздействия.

Преднамеренные электромагнитные воздействия (ПД ЭМВ) являются новым фактором угроз информационной безопасности ключевых систем информационной инфраструктуры. Эту угрозу следует оценивать как долговременную, требующую принятия адекватных защитных мер со стороны государства и общества. В соответствии с планом работ Технического комитета по стандартизации «Защита информации» (ТК-362) в 2010 г. авторами настоящей работы разработан проект ГОСТ Р «Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении (АСЗИ). Организация и содержание работ по защите от преднамеренных деструктивных электромагнитных и электрических воздействий. Общие положения». Вступление в силу стандарта ожидается в 2012 г. Проект, предлагаемый авторами, разработан с учетом:

- применения научно-обоснованного системного подхода к обеспечению защиты, предусматривающего рациональное сочетание ее различных структурных компонент: защиту помещения, средств обеспечения (электропитание, заземление, коммуникации), повышение устойчивости к ПД ЭМВ самих средств информатизации, применение технических средств (ТС) обнаружения и защиты, организационные меры. Защита строится адекватно проектной угрозе;
- интеграции системы защиты от ПД ЭМВ в комплексную систему безопасности объекта путем ее дополнения и функционального расширения.

Предполагается, что этот документ будет связующим в системе целевых стандартов по защите АСЗИ от данной угрозы. При разработке проекта стандарта авторами принималось во внимание, что ПД ЭМВ сочетает в себе признаки угроз как информационной безопасности, так и совершения несанкционированных действий силовыми методами. Исходя из этого, структура документа и стиль изложения материала ориентированы на достаточно широкий круг его потенциальных пользователей в области комплексной безопасности информации и объектов.

Общими положениями проекта стандарта определяются и устанавливаются: роль и место работ по защите автоматизированных систем (АС) от ПД ЭМВ во взаимодействии с работами по построению комплексных систем безопасности; структурные компоненты защиты; этапы и содержание работ, их исполнители и возлагаемые на них функции; ответственность за обеспечение требований по защите при эксплуатации АСЗИ. Согласно положениям проекта стандарта, работы по защите выполняются при создании АС в защищенном от ПД ЭМВ исполнении (табл. 1) и при эксплуатации АСЗИ в составе объектов информатизации (ОИ) (табл. 2). По каждому виду работ в документе достаточно развернуто изложены их содержание, организация и порядок выполнения, формы отчетности. В приложениях проекта стандарта приведены: состав информации, определяемой при обследовании и тестировании АС в составе ОИ; форма сводной таблицы угроз ПД ЭМВ; типовая форма раздела формуляра (технического паспорта) АСЗИ в составе ОИ по защите от ПД ЭМВ; типовая методика категорирования АС по степени их важности (по-

тенциальной опасности); типовые формы разрабатываемых документов и некоторые информационные данные, необходимые для проведения работ.

Виды работ	Содержание работ	Исполнители
Разработка Концепции защиты информации в АС от ПД ЭМВ	Обследование и тестирование АС в составе ОИ Построение модели угроз Формирование требований по защите Формирование проектных решений защиты Оценка эффективности защиты	Специализированная организация Заказчик (организация-пользователь АСЗИ) Экспертная организация
Реализация проектных решений защиты	Разработка технического задания на проектирование Проектные работы Монтаж, пуск и наладка АС в защищенном от ПД ЭМВ исполнении	Проектная организация Поставщики АС, ТС обнаружения ПД ЭМВ и защиты от них Строительно-монтажная организация Организация-пользователь АСЗИ Экспертная организация Контрольно-надзорный орган ведомства
Ввод в действие АСЗИ	Опытная эксплуатация АСЗИ в составе ОИ Приемочные испытания АСЗИ в составе ОИ Аттестация АСЗИ в составе ОИ	Организация-пользователь АСЗИ Комиссия

Таблица 1. Виды, содержание и исполнители работ по созданию АС в защищенном от ПД ЭМВ исполнении

Виды работ	Содержание работ	Исполнители
Использование по назначению ТС обнаружения ПД ЭМВ и защиты от них	Мониторинг электромагнитной обстановки Снижение/блокирование ПД ЭМВ Перевод АСЗИ в безопасный режим	Организация-пользователь АСЗИ
Выполнение целевых организационно-технических мероприятий	Предупреждение, пресечение электромагнитной атаки, локализация и ликвидация последствий	Организация-пользователь АСЗИ
Техническая эксплуатация ТС обнаружения ПД ЭМВ и защиты от них	Контроль исходного состояния и функционирования ТС Техническое обслуживание ТС Ремонт ТС	Организация-пользователь АСЗИ Поставщики ТС
Контроль защищенности АСЗИ в составе ОИ	Проверка функциональных свойств ТС обнаружения и защиты Проверка функциональных свойств защитных компонент и уровня защиты	Организация-пользователь АСЗИ Специализированная организация Контрольно-надзорный орган ведомства

Таблица 2. Виды, содержание и исполнители работ по защите АСЗИ от ПД ЭМВ при их эксплуатации в составе ОИ

Авторы считают, что проект стандарта, как документа федерального уровня, содержит, главным образом, общие положения в части организации и содержания работ по защите АС от ПД ЭМВ. Их развитие и конкретизация должны производиться на ведомственном/отраслевом уровне в виде соответствующих комплектов документов. Разработка этих документов должна осуществляться согласно положениям стандарта с учетом ведомственной специфики.

Жуковский Михаил Иванович – Федеральное государственное предприятие «ЦентрИнформ», кандидат технических наук, начальник НИИЦ, m.zhukovsky@center-inform.ru

Чванов Владимир Павлович – Федеральное государственное предприятие «ЦентрИнформ», кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела, v.chvanov@center-inform.ru

УДК 681.3

ВАРИАНТЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ РАЗНОТИПНЫХ КАНАЛОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

А.В. Осипов, В.А. Богатырев

Проанализированы варианты объединения в единую резервированную среду проводных и беспроводных каналов вычислительных сетей.

Ключевые слова: множественный доступ, беспроводные сети, надежность, резервирование магистралей.

При построении отказоустойчивых сетей с резервированием коммуникационной подсистемы [1–3] представляет интерес возможность использования каналов разной физической природы, в том числе проводных и беспроводных. Объединение разных сред для передачи информации позволит адаптивно использовать их особенности, например, то, что проводные каналы невосприимчивы к радиопомехам в эфире, а в беспроводных каналах невозможен обрыв/повреждение кабеля. Целесообразность построения смешанных проводных и беспроводных сетей может обуславливаться особенностями территориального расположения узлов сети. При объединении магистралей разного типа, работающих по различным протоколам множественного доступа (случайным или детерминированным), встает вопрос об их интеграции. Так как разные физические среды имеют особенности, например, для беспроводных каналов существуют проблемы «скрытой станции» и «засвеченной станции» [1], использование каналов различной природы усложняет реализацию множественного доступа к резервированному каналу [2, 3] и требует дополнительных исследований по их интеграции и нахождению области оптимального применения.

Рассмотрим вычислительную систему, в которой абонентские узлы обмениваются информацией через сетевой координатор. Обмен происходит по двум магистральям на основе проводной и беспроводной среды. Определим варианты использования проводной и беспроводной магистралей при первой и последующих посылках пакетов. Общее число таких комбинаций равно 2^4 . Комбинации, представляющие наибольший интерес, приведены в таблице. Пять из них предполагают одновременное использование проводного и беспроводного канала при первой и/или при последующих посылках.

№	Каналы, использующиеся при:			
	первой посылке		последующих посылках	
	проводной	беспроводной	проводной	беспроводной
1	нет	да	да	нет
2	нет	да	да	да
3	да	нет	нет	да
4	да	нет	да	да
5	да	да	нет	да
6	да	да	да	нет
7	да	да	да	да

Таблица. Варианты использования магистралей

В простейшем случае множественный доступ можно реализовать для одной из магистралей, доступ ко второй магистрали будет предоставляться автоматически после получения доступа к первой. При этом множественный доступ с контролем несущей должен быть организован для магистрали с меньшей скоростью передачи данных (например, беспроводной), тогда к моменту ее освобождения магистраль с большей скоростью передачи будет свободна. Этот способ реализуем для вариантов 2, 5, 7, однако для вариантов 4 и 6 он не исключает коллизий. Действительно, после того, как узел проверит беспроводной канал на отсутствие несущей, он начнет посылку по проводному каналу, однако другие узлы не увидят вещания в беспроводной сети и смогут начать передачу по проводному каналу, в результате чего произойдет столкновение пакетов. Для вариантов 4 и 6 требуется организовывать процедуру множественного доступа к двум магистральям и их удерживания до завершения передачи. Такой способ снижает вероятность коллизий, однако увеличивает энергопотребление конечными узлами (приходится вести передачу до освобождения второго канала) и снижает эффективности канала из-за роста служебного трафика.

Таким образом, предложены и проанализированы варианты организации обмена при объединении в единую резервированную среду каналов разной физической природы. Реализация такого объединения требует дополнительного исследования методов множественного доступа и определения области их эффективного применения с учетом изменяющихся условий взаимосвязи.

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – 4-е изд. – СПб: Питер, 2003. – 992 с.
2. Богатырев В.А. Надежность канала взаимосвязи в локальных сетях с резервированием магистралей // Электронное моделирование. – 1998. – № 3. – С. 99–103.
3. Богатырев В.А. Оценка надежности резервированного канала с межмагистральной ретрансляцией кадров // Автоматизация и современные технологии. – 2000. – № 4. – С. 2–4.

Осипов Андрей Владимирович – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, osipov-andrey@mail.ru

Богатырев Владимир Анатольевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, Vladimir.bogatyrev@gmail.com

УДК 681.3

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДУБЛИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.А. Богатырев, С.В. Бибииков

Предложена уточненная оценка функциональной безопасности дублированной вычислительной системы с учетом периодичности контроля и возможности перехода в опасное состояние из-за необнаружения отказа одной из машин системы.

Ключевые слова: безопасность, опасный отказ, защищенный отказ, дублированная система.

Задача обеспечения высокой надежности компьютерных систем, связанных с безопасностью, в том числе на транспорте, требует оценки интегральной и функциональной безопасности. Под интегральной понимается безопасность всей системы управления, а под функциональной – безопасность подсистемы, обеспечивающей безопасность [1]. В двухмашинных компьютерных системах, связанных с безопасностью, все вычисления, как правило, дублируются, при этом реализуется взаимоконтроль машин, основанный на сравнении результатов, а также на периодическом тестировании, проверке контрольных сумм и других методах [2–4]. Для дублированных систем к опасным состояниям относят состояния с отказом двух машин (с отказом процессора или памяти в каждой из них), так как при отказе одной из машин в результате взаимоконтроля этот отказ будет обнаружен и система переведена в защищенное (безопасное) состояние.

Вероятности опасного и безопасного отказа, интенсивность опасных отказов и среднее время до опасного отказа дублированной системы определяют [2] следующим образом:

$$Q_{\text{оп}}(t) = (1 - e^{-\lambda t})^2 \approx \lambda^2 t^2; \quad P_{\text{б}}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^2 \approx 1 - \lambda^2 t^2;$$

$$\lambda_{\text{оп}}(t) = -\frac{P'_{\text{б}2\lambda^2}(t)}{P_{\text{б}2\lambda^2}(t)} = \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{2 - e^{-\lambda t}} \approx 2\lambda^2 t; \quad T_{\text{оп}} = \int_0^{\infty} P_{\text{б}}(t) dt = \int_0^{\infty} (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) dt = \frac{2}{\lambda} - \frac{1}{2\lambda} = \frac{3}{2\lambda},$$

где λ – суммарная интенсивность отказов одного компьютера (включая отказы процессора, оперативной памяти и постоянной памяти, используемой для начальной загрузки).

Для уточнения оценки будем рассматривать в качестве опасного не только состояние с отказом двух каналов устройства, но и с отказом одного канала при необнаружении средствами контроля соответствующего отказа. Показатели безопасности дублированной системы в этом случае определим как

$$Q_{\text{оп}}(t) = (1 - e^{-\lambda t})^2 + 2(1 - e^{-\lambda t})e^{-\lambda t}(1/(2^m - 1)); \quad T_{\text{оп}} = \int_0^{\infty} P_{\text{б}}(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - ((1 - e^{-\lambda t})^2 + 2(1 - e^{-\lambda t})e^{-\lambda t}(1/(2^m - 1)))) dt,$$

где $1/(2^m - 1)$ – вероятность не обнаружения ошибки при контрольном суммировании. Учитывая, что при отсчете каждого периода контроля $i\tau$ ($i = 1, 2, \dots$) возможен переход в состояние опасного отказа или отсчет следующего $(i+1)$ -го интервала, среднее время до опасного отказа определим как

$$T_{\text{оп}} = \tau Q_{\text{оп}}(t) \sum_{i=1}^{\infty} (i+1)(1 - Q_{\text{оп}}(t))^i.$$

Расчетами установлено, что при периодичности контроля $\tau = 15$ с и $\lambda = 0,2245 \cdot 10^{-6}$, $6,209 \cdot 10^{-6}$, $20,9 \cdot 10^{-6}$ 1/ч среднее время до опасного отказа равно соответственно $T_{\text{оп}} = 3,18 \cdot 10^{15}$, $6,11 \cdot 10^{12}$, $5,46 \cdot 10^{11}$ ч, что показывает высокую безопасность исследуемых систем. Дополнительно увеличить надежность и безопасность дублированных вычислительных систем при необходимости можно в результате их реконфигурации [5, 6].

Таким образом, предложена оценка функциональной безопасности дублированных вычислительных систем с учетом периодичности контроля и возможности необнаружения отказа одной из машин комплекса, что исключает требуемый переход системы в защищенное состояние.

1. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования. – Введ. 27.12.2007. – М.: Госстандарт России. – 96 с.
2. Сапожников В.В., Сапожников В.В., Шаманов В.И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
3. Богатырев В.А., Башкова С.А., Безубов В.Ф. Надежность дублированных вычислительных комплексов // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 6. – С. 74–78.
4. Богатырев В.А., Богатырев С.В., Богатырев А.В. Оптимизация кластера с ограниченной доступностью кластерных групп // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 1. – С. 63–67.
5. Bogatyrev V.A. Exchange of Duplicated Computing Complexes in Fault tolerant Systems // Automatic Control and Computer Sciences. – 2011. – V. 46. – № 5. – P. 268–276.
6. Богатырев В.А. Отказоустойчивость вычислительных систем с функциональной реконфигурацией // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. – № 11. – С. 51–53.

Богатырев Владимир Анатольевич – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, Vladimir.bogatyrev@gmail.com
Бибииков Сергей Викторович – ООО "Центр речевых технологий", зам. техн. директора, bibikov@speechpro.com

УДК 004.891

ОБЗОР СИСТЕМ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ,
ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА РЫНКЕ КАЗАХСТАНА

М.К. Баймульдин, А.А. Шаугумбекова

Рассматриваются основные функции и требования, предъявляемые к системе финансового планирования. Исходя из требований, проводится анализ наиболее распространенных в Казахстане систем.

Ключевые слова: финансовое планирование, Казахстан, информационные системы.

Финансовое планирование представляет собой процесс разработки системы мероприятий по обеспечению развития предприятия необходимыми финансовыми ресурсами и повышению эффективности финансовой деятельности в предстоящем периоде [1]. Для увеличения производительности, качества и оперативности процессов финансового планирования возникает необходимость разрабатывать и использовать автоматизированные системы. Система финансового планирования должна выполнять следующие функции: планирование и координация, принятие решений и делегирование полномочий, оценка и переоценка тенденций, взаимодействие и мотивация персонала, контроль и анализ.

Рассмотрим элементы технологии планирования и подходы в их автоматизации с четырех позиций:

1. состав и свойства информационных объектов системы планирования;
2. функциональность и алгоритмы системы;
3. организация работы пользователей с системой;
4. архитектура и средства интеграции.

Определив основные требования к автоматизированным системам финансового планирования, можно проанализировать существующие информационные системы, наиболее известные на рынке. Сегодня на нашем рынке представлено много систем планирования западных и российских производителей. Систем, созданных в Казахстане, представляющих конкуренцию зарубежным, на рынке нет. Большинство используемых у нас западных систем отличаются высоким технологическим уровнем, развитой функциональностью и гибкостью. Они позволяют работать с программой одновременно большому количеству сотрудников, в том числе в удаленном режиме, и обрабатывать большие объемы данных [2].

Зарубежные системы имеют высокую стоимость лицензий и внедрения. К условным недостаткам западных систем можно отнести неполную локализацию программ и пользовательской документации, сложность внесения изменений в настроенную систему, а также некую «технологическую громоздкость», обусловленную необходимостью поддержки многопользовательской работы со сложными моделями и большими объемами данных. Такие системы можно рекомендовать крупным корпорациям, а также средним компаниям и холдингам, имеющим несколько направлений бизнеса, большую номенклатуру продукции, развитую филиальную сеть.

Российские системы вполне могут составить конкуренцию западным как по функциональным возможностям, так и по технологическому уровню, однако уступают им по известности и опыту внедрения. Кроме того, большинство из них имеет некоторые специфические особенности, не позволяющие напрямую сравнивать их с зарубежными разработками. Стоимость российских программ и их внедрение существенно ниже, чем у западных аналогов. Наиболее известными российскими системами финансового планирования являются Галактика, Инталев, BPlan. По определенным выше критериям проанализируем существующие информационные системы.

Галактика. Одна из наиболее популярных отечественных интегрированных корпоративных информационных систем класса ERP. Значительно дешевле западных систем аналогичного класса. Галактика построена в архитектуре клиент-сервер и является интероперабельной системой, способной функционировать в связке с различными серверами баз данных.

Достоинства: самая недорогая из крупных систем; поддержка многопользовательской работы с использованием удаленного доступа через Web; интеграция с внешними системами, с Excel; проработанные средства план/фактного анализа и анализа «что-если», механизмы финансовой логики; поддержка мультивалютности; проработанная система разграничения прав доступа и аудита работы системы; удобство в использовании, настройка не требует серьезных программистских знаний; развитые средства поддержки коллективной работы, в том числе через Web-браузер [3].

Недостатки: сложная архитектура системы; неудобная работа с плановыми статьями; отсутствие средств поддержки и документирования самого процесса планирования; отсутствие технологии «скользящего» планирования; отсутствие многих функций, облегчающих расчет плановых показателей. При всей своей «доступности» Галактика является серьезной и достаточно мощной системой, предназначенной для использования на крупных и средних предприятиях.

Инталев. Использует файл-серверную, а не клиент-серверную технологию, что является не самым передовым с технологической точки зрения решением для систем данного класса. Специализированной системой планирования из серии данного программного продукта можно назвать только «Инталев: Управление финансами», которая является чисто коробочным продуктом, обладающим минимальной гибкостью и настраиваемостью, и представляет собой готовое решение за небольшие деньги.

Достоинства: наличие базового функционала для создания планов и отчетов; возможность внесения изменений в финансовую модель в процессе планирования; простота в освоении и использовании; тесная интеграция с 1С; наличие платежного календаря, позволяющего в удобной форме планировать график платежей и поступлений с любой периодичностью [4].

Недостатки: отсутствуют средства многомерного анализа данных с использованием технологий OLAP; затруднена интеграция с внешними источниками данных; технологические ограничения системы и ее невысокая мощность; специфичность принципов бухгалтерского учета.

Эта информационная система приемлема для предприятий с несложной финансовой структурой, для которых важна престижность и известность марки используемого программного обеспечения.

BPlan. Это единственная российская разработка, которая может равноправно конкурировать с зарубежными системами.

Достоинства: минимальная стоимость и максимальная доступность в освоении и внедрении; развитый функционал для построения системы планов и расчета плановых показателей; удобные средства графического отображения плановой модели и взаимосвязей бюджетов; поддержка всестороннего анализа данных как с помощью технологии drill-down («сверление» данных по иерархии), так и «по связям» между планами; простота и удобство работы; возможность самостоятельно моделировать систему планов, осуществлять планирование с использованием формул и механизмов разнесения, консолидации и агрегации, а также анализировать данные на базе OLAP-технологий [5].

Недостатки: недоработанность организации хранения элементов плановой модели, поддержки многопользовательской работы; отсутствие удаленного доступа через Web; ограниченность средств обмена данными с внешними приложениями (возможность интегрироваться только с Excel).

BPlan подходит как средним, так и крупным компаниям. Единственным противопоказанием могут служить повышенные требования к производительности системы и уровню технической реализации, а также к поддержке многопользовательской работы.

Рассмотрев функциональные возможности, достоинства и недостатки наиболее распространенных на российском рынке систем финансового планирования, можно сделать следующие выводы.

1. На сегодняшний день на российском рынке не представлены системы финансового планирования, обладающие полным комплексом функциональных возможностей и не имеющие недостатков.
2. Каждый руководитель должен выбирать ту систему финансового планирования, которая соответствует масштабам деятельности предприятия, его персональным особенностям и целям планирования.
3. Предпочтение следует отдавать многоблочным системам, обладающим способностью индивидуальной настройки и добавления модулей с дополнительными возможностями и функциями.

1. Буряковский В.В. Финансы предприятий: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 248 с.
2. Крылович А. Информационные технологии в управлении предприятием // Корпоративный менеджмент. – 2000. – № 10 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cfin.ru/itm/kis/tops.shtml>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 19.01.2012).
3. Бочаров Е.П., Колдина А.И. Интегрированные корпоративные информационные системы. Принципы построения. Лабораторный практикум на базе системы «Галактика»: Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 288 с.
4. Федосеев А. Инталев: Внедрение без обмана // Компьютеринформ. – 2000. – № 7 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ci.ru/inform07_00/p09int.htm, свободный. Яз. рус. (дата обращения 19.01.2012).
5. Герасименко Н.А. «BPlan» – система для автоматизации бюджетирования. – М.: Международный финансовый еженедельник «Финансовая газета» – 2005. – № 39. – С. 10–15.

Баймульдин Мурат Каирович – Карагандинский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, baimuldinmurat@mail.ru

Шаугумбекова Алия Аргыновна – Карагандинский государственный технический университет, аспирант, sha_liya@mail.ru

УДК 004.424:78 (086.7)

МУЗЫКАЛЬНО-КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В.В. Беличенко, И.Б. Горбунова

Рассматриваются вопросы специфических изменений, которые вносит музыкальный компьютер в различные сферы музыкального образования. Рассматриваются основные элементы современного программно-аппаратного комплекса для реализации цикла образовательных программ по направлению «Музыкально-компьютерные технологии».

Ключевые слова: музыкально-компьютерные технологии, музыкальный компьютер, музыкально-компьютерные технологии в образовании, инновационный учебно-методический комплекс.

Музыкально-компьютерные технологии (МКТ) обладают широким спектром возможностей. Музыкальный компьютер уже сегодня становится незаменимым в деятельности композитора, аран-

жировщика, музыкального оформителя, музыкального редактора и все шире применяется в преподавательской деятельности.

В Российском государственном педагогическом университете (РГПУ) им. А.И. Герцена сотрудниками учебно-методической лаборатории (УМЛ) «Музыкально-компьютерные технологии» создан комплекс образовательных программ, ориентированных на актуальные задачи современного музыкального образования и новые запросы учащихся, соответствующие динамическим изменениям на рынке труда.

Комплексная инновационная образовательная система «Музыкально-компьютерные технологии» развивает собственно музыкальное и информационно-технологическое образование и затрагивает социальные аспекты процесса информатизации в целом. Реализации концепции музыкально-компьютерного образования в подготовке музыканта осуществляется через основные образовательные программы системы профессиональной подготовки, систему дополнительного образования, профессиональное развитие педагогов и их методическую поддержку в сети Интернет.

Под руководством И.Б. Горбуновой – председателя учебно-методической комиссии «Музыкально-компьютерные технологии» – разработан, лицензирован и внедрен в педагогический процесс профессионально-образовательный профиль подготовки бакалавров художественного образования 050610 «Музыкально-компьютерные технологии», на который с 2004 г. осуществляется набор абитуриентов. Разработана и внедрена программа магистерской подготовки «Музыкально-компьютерные технологии в образовании». Программы бакалавриата и магистратуры внедрены в образовательный процесс многих музыкальных и педагогических вузов страны, академий культуры и консерваторий.

Реализация инновационной образовательной системы «Музыкально-компьютерные технологии» осуществляется также через систему дополнительного образования: программы профессиональной переподготовки «Преподавание музыкальных дисциплин с использованием музыкально-компьютерных технологий в средних профессиональных образовательных учреждениях (музыкальные и музыкально-педагогические училища)», «Преподавание электронного музыкального инструмента с использованием музыкально-компьютерных технологий в средних профессиональных образовательных учреждениях» и др., а также программы повышения квалификации, среди которых: «Музыкально-компьютерные технологии», «Информационные технологии в музыке», «Компьютерная студия звукозаписи», «Музыкальный компьютер в детской музыкальной школе», «Компьютерное музыкальное творчество», «Дистанционное музыкальное образование», «Программное обеспечение профессиональной деятельности музыканта», «Музыкальный компьютер – новый инструмент музыканта» и др., а также программы курсовой подготовки.

Реализация концепции также предусматривает профессиональное развитие музыкантов и их методическую поддержку в сети Интернет.

Сотрудниками УМЛ «Музыкально-компьютерные технологии» осуществляется научно-методическое сопровождение учебного процесса, внедряются учебные пособия, инновационные учебно-методические комплексы (ИУМК), цифровые образовательные ресурсы (ЦОРы), сетевые образовательные ресурсы; разработаны и обоснованы новые учебно-методические комплексы (УМК), осуществлено полное учебно-методическое сопровождение ряда дисциплин нового типа, включающее печатные и мультимедийные пособия, дистанционные формы поддержки образовательного процесса [1–4].

При поддержке Национального фонда подготовки кадров (НФПК) Министерства образования и науки Российской Федерации в проекте «Создание учебной литературы нового поколения» разработан и внедрен в образовательный процесс УМК нового поколения «Музыкальный компьютер (новый инструмент музыканта)». В рамках проекта «Информатизация системы образования» разработан и внедрен в пилотных регионах России ИУМК «Музыка и информатика»; разработан информационный источник сложной структуры (ИИСС) «Музыка в цифровом пространстве» и «Звук и музыка в мультимедиа системах» Единой коллекции цифровых образовательных ресурсов Федерального центра информационных образовательных ресурсов (ФЦИОР) (<http://school-collection.edu.ru>). Созданные ИУМК являются базовыми элементами для обучения студентов различных музыкальных и музыкально-педагогических специальностей.

Для реализации предметов цикла МКТ используется музыкально-компьютерный класс, в котором располагаются рабочее место преподавателя, учебные рабочие места и оборудование для аудиовизуального сопровождения. Данное оборудование позволяет преподавателю активно использовать индивидуально-групповую форму занятий, корректировать действия каждого ученика с учетом особенностей его дарования [5–7]. Одновременное выполнение заданий всеми обучающимися благодаря наушникам позволяет работать, не создавая помех для остальных участников учебного процесса, обеспечивается также усвоение учащимися материала и закрепление полученных знаний и навыков непосредственно на занятиях. Аппаратная часть учебной музыкально-компьютерной аудитории включает следующий комплект оборудования: персональный компьютер в стандартной комплекта-

ции, MIDI-клавиатуру, звуковую карту или внешний аудиоинтерфейс, головные стереотелефоны (средство индивидуального контроля аудиосигналов), динамический микрофон (индивидуальное средство для записи речи, голоса и акустических сигналов).

Программная часть учебного музыкально-компьютерного программно-аппаратного комплекса состоит из операционной системы и программного обеспечения (ПО), которые образуют вместе «программную платформу» комплекса. Взаимодействие программной платформы и аппаратного обеспечения можно рассматривать как программно-аппаратный комплекс, который может быть реализован различными способами [8].

Для операционной системы Windows существует наибольший выбор музыкального ПО. В его разработке участвуют такие производители, как Adobe, Sony, Steinberg, Twelve Tone System (Sakewalk) и др. Наиболее используемое ПО для профессионального компьютера (PC) и операционной системы (OC) Windows: аудио-MIDI секвенсер Steinberg Cubase, аудио-MIDI монтажная станция Steinberg Nuendo, аудиоредактор Steinberg WaveLab, аудиоредактор Sony Sound Forge, аудиовидео-монтажная станция Sony Vegas, аудио-MIDI монтажная станция Sony ACID, многоканальный аудиоредактор Adobe Audition, аудио-MIDI секвенсер Ableton Live, аудио-MIDI, секвенсер Digidesign Pro Tools LE & M-Powered, нотно-издательский редактор Finale, аудио-MIDI секвенсор Mackio Tracktion, аудио-MIDI монтажная станция Magix Samplitude, интерактивный секвенсор PG Music Band-in-a-Box, виртуальная студия Propellerheads Reason, аудио-MIDI секвенсер REAPER, нотно-издательский редактор Sibelius и др. OC Windows является проприетарной, и прилагаемое к ней ПО не отличается богатством и функциональностью, поэтому для реализации на этой платформе учебного процесса необходимо открытое или проприетарное ПО.

Созданная на основе UNIX операционная система MacOS является неотъемлемой частью аппаратных комплексов компании Apple. Так, например, программный пакет Apple Logic Studio и программно-аппаратный комплекс Digidesign ProTools HD выпускается в настоящий момент только для MacOS. В учебном процессе эффективно используются аудио-MIDI секвенсор Apple Garage Band, аудио-MIDI секвенсор MOTU Digital Performer и др. MacOS является проприетарной, достаточно стабильной и более безопасной, чем Windows, в связи с этим она используется для разработки качественных программных приложений в области звукозаписи, видеопроизводства и компьютерной графики.

В данный момент интерес к семейству OC GNU/Linux в системе российского образования возрастает, однако уровень развития МКТ в этой среде отстает на несколько лет по сравнению с проприетарными OC Microsoft и Apple, поэтому выбор специализированного ПО и кроссплатформенных пакетов недостаточен, и круг пользователей GNU/Linux среди специалистов МКТ ограничен. Однако ситуация быстро меняется. Так, многоканальный аудиоредактор Audacity Аудио-MIDI, многоканальная монтажная станция Ardour, виртуальная драм-машина Hydrogen, нотно-издательский редактор Linux Music Score, аудио-MIDI секвенсор Linux Multimedia Studio, интерактивный секвенсор MusE, аудио-MIDI секвенсер Rosengarden, аудио-MIDI секвенсор REAPER (WINE) востребованы на рынке образовательных услуг в сфере МКТ. Основным преимуществом OC GNU/Linux можно считать то обстоятельство, что она свободно распространяется и является системой с открытым кодом. Этим определяются возможности для разработки различных программных пакетов и комплектации дистрибутивов, учебных программ и методических комплексов, ориентированных на нужды российского образования. Использование GNU/Linux систем позволяет значительно упростить и стандартизировать формы и методы реализации самостоятельной работы студентов.

В процессе выбора программно-аппаратного комплекса для реализации цикла учебных дисциплин МКТ важно, чтобы он соответствовал целям и задачам обучения. Направление «Музыкально-компьютерные технологии» представлено несколькими «профессиональными доминантами» – творческой, технической и педагогической соответственно, каждой группе специалистов необходимо предоставить учебный технический комплекс для их развития. При этом важно учитывать, насколько данный комплекс будет подобен тем, на которых будущим специалистам предстоит работать. Исходя из этого, становится необходимым сузить решение проблемы до выбора наиболее востребованных программных и популярных пакетов. Сегодня наиболее авторитетным комплексом для решения звукорежиссерских задач являются решения от Digidesign (Pro Tools). Наиболее востребованными пакетами среди аранжировщиков являются Steinberg Cubase, Roland Sonar и Apple Logic Studio 8.

При подготовке педагога или преподавателя музыкально-теоретических дисциплин следует обратить внимание на программные решения Sibelius, в линейке продуктов которого известнейший нотный редактор Sibelius, Instruments – электронный курс инструментоведения, Compass – электронный курс анализа музыкальных форм и композиции, Auralia – тренинговая программа по сольфеджио, Musition – электронный курс теории музыки, Star Class – программа для подготовки уроков музыки» [8].

Для реализации цикла дисциплин направления МКТ необходимо наличие музыкально-компьютерного класса и учебной студии. Музыкально-компьютерный класс в основном предназна-

ется для групповых лекционных и практических занятий, тогда как учебная студия – это место для практических и индивидуальных занятий. Оснащение учебной студии соответствующим оборудованием предполагает создание особого акустического пространства в помещении, которое, по сути, является новым виртуальным музыкальным инструментом [9–10].

Задачи, которые решаются при подготовке специалистов направления МКТ, меняются в процессе развития самих технологий. В связи с этим целесообразно использовать несколько музыкально-компьютерных классов с различной комплектацией на альтернативных платформах. Это позволит студентам получить более разносторонний опыт работы, наиболее полно подготовит к различным условиям функционирования в сфере МКТ, обеспечит необходимый уровень востребованности на рынке труда.

1. Камерис А. Пути реализации концепции музыкально-компьютерного образования в подготовке педагога-музыканта: Автореф. дис. ... канд. пед. наук. – СПб, 2007. – 23 с.
2. Чибирев С.В. Исследование математических моделей, разработка алгоритмов и интерфейса программного комплекса обработки звуковых фрагментов в формате MIDI: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – СПб, 2007. – 18 с.
3. Горельченко А.В. Операционность знаний по информатике учащихся музыкальных школ на базе музыкально-компьютерных технологий: Автореф. дис. ... канд. пед. наук. – СПб, 2007. – 19 с.
4. Горбунова И.Б., Кибиткина Э.В. Музыкальное программирование: вопросы подготовки специалистов // Искусство и образование. – М., 2010. – № 5 (67). – С. 104–111.
5. Горбунова И.Б. Феномен музыкально-компьютерных технологий как новая образовательная творческая среда // Известия РГПУ им. А.И. Герцена: Психолого-педагогические науки. – 2004. – С. 123–138.
6. Белов Г.Г., Горбунова И.Б., Горельченко А.В. Музыкальный компьютер (новый инструмент музыканта): Учебное пособие. – СПб: СММО-Пресс, 2006. – 212 с.
7. Горбунова И.Б., Горельченко А.В. Музыкальный компьютер в системе начального музыкального образования: Учебное пособие. – СПб: СММО-Пресс, 2007. – 115 с.
8. Брянцев М.М., Горбунова И.Б., Кибиткина Э.В., Праздничных О.Ю. Программное обеспечение профессиональной деятельности музыканта: Учебное пособие. – СПб: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена. – 2009. – 144 с.
9. Горбунова И.Б. Информационные технологии в музыке. Т. 1: Учебное пособие. Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена. – 2009. – 197 с.
10. Горбунова И.Б. Информационные технологии в музыке. Т. 2: Учебное пособие. Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена. – 2010. – 210 с.

Беличенко Владимир Владимирович – Автономная некоммерческая организация высшего профессионального образования «Смольный институт Российской Академии образования», старший преподаватель, agagopn-studio@mail.ru

Горбунова Ирина Борисовна – Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, доктор педагогических наук, профессор, gorbunova@herzen.spb.ru

SUMMARY

1. OPTICAL AND OPTICAL ELECTRONIC SYSTEMS. OPTICAL TECHNOLOGIES

OPTICAL SPECTRAL TECHNOLOGIES APPLICATION FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF BLEACHING WORKS IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY

N. Belov, V. Prokopenko, A. Sherstobitova, A. Yas'kov

The article deals with optical methods, control and diagnostics means of bleaching works in the pulp and paper industry using chlorinated whiteners. Results of laboratory studies in visible region of wavelengths of cellulose diffuse reflectance R and parameter of whiteness B against the expenditure of chlorinated whiteners and continuance of bleaching process are represented. Spectral data of diffuse reflectance are compared with the ultraviolet absorption in aqueous solutions of residual lignins. Algorithms of optical spectral technologies application for optimization of pulp bleaching works are substantiated. Results of industrial tests of optical spectral sensor of whiteness in Kotlas Pulp and Paper Mill bleaching manufacture are represented.

Keywords: diffuse reflectance coefficient, parameter of whiteness, ultraviolet absorption, residual lignins, active chlorine concentration.

Nikolay Belov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, senior staff scientist, ttoe@hotmail.ru

Victor Prokopenko – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Professor, prokopenko@mail.ifmo.ru

Alexandra Sherstobitova – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, assistant, ashev87@mail.ru

Andrey Yas'kov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, ttoe@hotmail.ru

REMOTE LASER IDENTIFICATION OF THE BUILDING MATERIAL TYPE

V. Trofimov, M. Belyaeva

Features of the fiber-optic method for remote identification of material type with a fiber ytterbium laser are described; the feasibility is shown to determine the basic building materials type by the spectrograms of plasma torch originating at affecting of laser radiation on the surface of the test materials; the ability of the identification process automation is analyzed.

Keywords: building material, emission spectral analysis, plasma torch, identification, automation.

Vladimir Trofimov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, troftu@mail.ru

Maria Belyaeva – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, BelyaevaMary@mail.ru

DYNAMIC PARAMETERS OPTIMIZATION FOR TRIGGER TYPE OPTICAL PROBE

E. Majorov, V. Prokopenko, L. Ushveridze

The article deals with a way of the influence minimization of the speckle modulation in the trigger type optical probes on the output. The issue of discrete data acquisition is analyzed. Correlation function measurements of the output signal envelope at several arbitrary points on the surface of the object are done. Obtained results are of great practical importance for the trigger type optical probe.

Keywords: interference devices, optical probe, coherently limited radiation sources, speckles, correlation function, reference mirror.

Evgeniy Majorov – Northwest State Medical University named after I.I. Mechnikov, Associate professor, PhD, majorov_ee@mail.ru

Victor Prokopenko – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Professor, prokopenko@mail.ifmo.ru

Larisa Ushveridze – Northwest State Medical University named after I.I. Mechnikov, Associate professor, PhD, Associate professor, larisha6@yandex.ru

OPTICAL CONTROL IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF PISTON RINGS PRODUCTION

V. Maslov, A. Arustamyan, V. Minakov

Spectral characteristics experimental study of the object position reflection (bucket of molten metal) by X-Rite spectrophotometer (Switzerland) is done, the possibility of spectral characteristics representing by linear-harmonic functions with enough metrological accuracy class is proved.

Keywords: quality, piston rings, spectral characteristics.

Vladimir Maslov – Saint Petersburg State Polytechnic University, Department head, Professor, D.Sc., Professor, vimaslov@tu.neva.ru

Aram Arustamyan – Saint Petersburg State Polytechnic University, postgraduate, arustam@inbox.ru

Vladimir Minakov – Saint Petersburg State University of Economics and Finance, Professor, D.Sc., Professor, m-m-m-m-m@mail.ru

2. PHOTONICS AND OPTICAL INFORMATICS

ANALYSIS OF INTERFEROMETER DATA PROCESSING METHODS IN SPECTRAL OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY

I. Gurov, A. Kirakozov

Comparative analysis is performed applied to the two methods of tomography images reconstruction in spectral optical coherence tomography: conventional method based on inverse Fourier transformation and logarithmic transformation method. Advantages of the logarithmic transformation method are shown expressed in obtaining images of higher quality due to elimination of distortions introduced by accompanying non-informative components of interferometer signals in spectral optical coherence tomography.

Keywords: optical coherence tomography, logarithmic transformation method

Igor Gurov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Professor, gurov@mail.ifmo.ru

Alexander Kirakozov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, kirakozov@rain.ifmo.ru

RECONSTRUCTION OF DIGITAL FOURIER HOLOGRAM IN CASE OF NYQUIST FREQUENCY EXCESS

K. Grebenyuk, A. Grebenyuk, V. Ryabukho

Experimental investigation of registration peculiarities of digital Fourier holograms in case of Nyquist frequency excess has been carried out. It has been shown, that exceeding of Nyquist frequency by carrier frequency of the hologram leads not to disappearance of the reconstructed image, but to gradual decrease of image intensity, which indicates decrease of hologram diffraction efficiency.

Keywords: digital holography, Fourier hologram, hologram structure, spatial spectrum, Nyquist frequency.

Konstantin Grebenyuk – Saratov State University n.a. N. Tchernyshevskiy, Associate professor, PhD, KonstantinAG@yandex.ru

Anton Grebenyuk – Saratov State University n.a. N. Tchernyshevskiy, postgraduate, GrebenyukAA@yandex.ru

Vladimir Ryabukho – Saratov State University n.a. N. Tchernyshevskiy, Professor, D.Sc., Professor, rvp-optics@yandex.ru

SMALL DISPLACEMENTS DETERMINATION OF OBJECTS SURFACE BY DIGITAL HOLOGRAPHY METHODS

V. Gendin

The results of small displacements determination of objects surface by digital holography method are presented. The process of digital holograms recording and phase information reconstruction from the holograms are considered. Measurement accuracy of the normal surface displacement of an object while using two methods of the zero-order diffraction removing is compared with the following phase calculation of object wave.

Keywords: digital holography, image reconstruction, removal of the zero-order diffraction

Vladislav Gendin – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, vlad.gendin@gmail.com

3. LASER AND BIOMEDICAL TECHNOLOGIES

TERAHERTZ TRANSMISSION AND REFLECTION SPECTRA OF CATARACT MODIFIED HUMAN CRYSTALLINE LENS

A. Ezerskaya, O. Smolyanskaya, S. Parakhuda, Y. Grachev, A. Goncharenko

Correlation between the optical density of the crystalline lens nucleus in terahertz range with its density, determined according to the L. Buratto classification was revealed. Lens fibers infiltration caused by senile cataract increases the lens reflectivity in the THz range. The temporal structure of reflected THz signals allows determining the spatial distribution of crystalline lens density.

Keywords: terahertz spectroscopy, terahertz tomography, ophthalmology, cataract diagnosis.

Anna Ezerskaya – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies Mechanics and Optics, student, a.a.ezerskaya@gmail.com

Olga Smolyanskaya – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, o_smolyanskaya@mail.ru

Sergey Parakhuda – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, pars144@mail.ru,

Yaroslav Grachev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies Mechanics and Optics, postgraduate, grachev_y@mail.ru

Aleksandra Goncharenko – S. Fyodorov Eye Microsurgery Complex the Krasnodar Branch Position, postgraduate, beesanny@gmail.com

4. ANALYSIS AND SYNTHESIS OF COMPLEX SYSTEMS

FORMATION OF THE ALGORITHMIC RECURSIVE CORRECTION FOR SYSTEMATIC CODES MULTIPLE ERRORS BASED ON QUASI-SYNDROMES IN THE RATE OF HARDWARE TIME

A. Ushakov, E. Yaitskaya

The article deals with correction signals forming of systematic codes distortion using quasi-syndromes of errors in the algorithmic recurrent decode environment in the case of high multiplicity error correction and in the rate of hardware time. The article positions are illustrated by example.

Keywords: recurrent decode, quasi-syndrome, the rate of hardware time, multiple errors.

Anatoly Ushakov – Saint Petersburg National Research University of Information Technology, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, ushakov-AVG@yandex.ru

Elena Yaitskaya – Saint Petersburg National Research University of Information Technology, Mechanics and Optics, postgraduate, yaitskayaes@mail.ru

PHYSICAL PROCESSES RESEARCH IN THE PULSE XENON LAMP AT THE PUMP ELECTRICAL CIRCUIT OPERATION ON THE BASIS OF MODULATOR WITH THE PARTIAL DISCHARGE CONDENSER

Yu. Mandryko, V. Togatov

The article deals with the physical processes research while the pulse forming of the pump current in the plasma channel of the pulse xenon lamp in the pump current limitation mode by lamp itself.

Keywords: pump current pulse, plasma channel, electrical circuit.

Yury Mandryko – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, senior lecturer, mandryko1@rambler.ru

Vyacheslav Togatov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, v.togatov@mail.ru

SYNTHESIS OF OPTIMAL ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS BY MODIFIED GENETIC ALGORITHM

I. Bondarenko, Yu. Gatchin, V. Geranichev

Principles of neural networks synthesis are considered, shortcomings of approaches are shown when choosing the structure and scales adjustment. Networks optimization is possible by evolutionary algorithms application with advantages becoming apparent with multi coherent and multilayered networks operation. Simulation experiments were made on concrete test function and confirm efficiency of the developed algorithms.

Keywords: artificial neural network, genetic algorithm, cluster analysis, neuron, chromosome, back error propagation, Branins test function.

Igor Bondarenko – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, igorlitmo@rambler.ru

Yuri Gatchin – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Professor, gatchin@mail.ifmo.ru

Vladimir Geranichev – FSUE «Saint Petersburg Experimental Design Bureau "Electroavtomatika"», Section head, geranichev@mail.ru

CONTROL SYSTEM IDENTIFICATION AND ADJUSTMENT FOR THE ELECTRO DRIVE OF TELESCOPE AZIMUTHAL AXIS

S. Tushev

The article describes mathematical model acquisition method for the telescope azimuthal axis electro drive by its parameters identification. Obtained model is used to configure high-precision object automatic control system, and its work is checked on a real device. Theoretical calculations coincide with the practical results to a great extent, showing the reliability of control system development method.

The article is of great interest for students, postgraduates, employees of electro technical specialties, and specialties related to the theory of automatic control.

Keywords: identification, electro drive, adjustment, precision electro drive, telescope.

Sergey Tushev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, sergy5@mail.ru

5. COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

PROBLEM-ORIENTED AGENT-BASED PLATFORM OF MULTI MODEL COMPLEXES DESIGN FOR REGIONAL SAFETY MANAGEMENT SUPPORT

A. Masloboev, A. Gorokhov

A cognitive approach has been proposed for regional development of global safety management information and analytical support problems solution based on conceptual, system-dynamic and multi-agent simulation methods

combination of complex dynamic systems and informatization processes. The approach provides intelligent decision support systems development technologies design used in the field of regional socio-economic systems safety development forecasting and strategic planning. Architecture and base components of distributed problem-oriented agent-based platform for multi model complexes application and design for region safety management support have been developed.

Keywords: cognitive information technologies, simulation, system dynamics, multi agent-based technologies, multi model complex, management, global safety, region.

Andrey Masloboev – Federal State Budgetary Establishment of Science Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, PhD, Associate professor, masloboev@iimm.kolasc.net.ru

Andrey Gorokhov – Federal State Budgetary Establishment of Science Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, Head of laboratory, D.Sc., Professor, gorokhov@iimm.kolasc.net.ru

SYSTEMS OF DUPLICATED COMPUTER COMPLEXES WITH REQUESTS REALLOCATION

I. Golubev

The approaches to fault-tolerant computer networks organization are researched based on duplicated computer complexes, providing reliability and performance increase via dynamic redistribution of the requests flow, taking into account status and occupancy of computer nodes. The presented results demonstrate the important role of multiplicity of redundancy and occupancy balancing in system efficiency. The dependence of system efficiency on the distribution method of computer nodes between network levels and requests flow between nodes are identified. The efficiency of reliability and performance ensuring for computer systems, composed of duplicated computer complexes, based on dynamic requests allocation is demonstrated.

Keywords: duplicated computer complexes, occupancy balancing, computer networks.

Ivan Golubev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, www.golubev@mail.ru

DE BRUIJN SEQUENCES APPLICATION FOR PSEUDO REGULAR CODE SCALES GENERATION

A. Ozhiganov, I. Zakharov

An algorithm for De Bruijn sequences generation of the given degree based on the graphs of the same name is proposed. Examples of pseudo regular code masks creation based on the generated sequences are given.

Keywords: De Bruijn sequence, De Bruijn graph, code scale, code track, recursive code scale, pseudo-random code scale, nonlinear code scale, pseudo regular code scale.

Alexander Ozhiganov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, ojiganov@mail.ifmo.ru

Ilya Zakharov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, zakharov_ilya@hotmail.com

DEVELOPMENT PROBLEMS OF THE ENTERPRISE IT- INFRASTRUCTURE

P. Burakov, D. Kurochkin

Management task of a reliable, modern, adaptive, flexible and functional enterprise IT- infrastructure creation which is the basis of corporate information systems operation, testing and new business applications implementation are discussed. This problem decision is connected with the decision of the whole complex of problems based on enterprise IT- infrastructure formation. The strategy defines a set of priority initiatives in the field of information technology which allows developing an information technological complex of the enterprise in concord, with participation of all divisions, on the basis of uniform requirements for achievement of the enterprise strategic targets.

Keywords: enterprise IT infrastructure, enterprise IT strategy, priority initiatives in the field of information technology, enterprise strategic targets, optimization of administrative processes, the system project of creation of complex information system

Peter Burakov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, pv_burakov@mail.ru

Dmitry Kurochkin – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, applicant, d.e.kurochkin@gmail.com

6. MECHANICS AND MECHATRONICS

KINEMATIC CONTROL OF TWO-PARAMETRICAL SCANNING AERIAL

G. Zamoruev, I. Kalapyshina

The article deals with kinematics of two-parametrical scanning aerial and the character of its movement. Simulation model of aerial mechanical module in SimMechanics package is suggested and solution of analytical equations for mechanical module movement by MATLAB functions is obtained. Comparison of numerical results obtained at similar initial conditions is carried out for simulation model of aerial mechanical module in SimMechanics package and analytical equations for mechanical module movement by MATLAB functions. The case with an additional rotation angle is simulated.

Keywords: simulation, scanning aerial, kinematics, system of levers.

George Zamoruev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, georgyz09@gmail.com

Irina Kalapyshina – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, weir521@yandex.ru

7. MATERIALS TECHNOLOGY AND NANOTECHNOLOGIES

QUANTITATIVE DESCRIPTION OF NONLINEAR DYNAMICS IN THE POROUS ACRYLIC THIN FILM

G. Luk'yanov, M. Uspenskaya

The process of watery solutions absorption by the acrylic polymer films and its quantitative description is investigated. Swelling dynamics of obtained hydrogels is described on the basis of Hurst exponents images and fractal dimension at different swelling phases. Ionized networks of copolymers of acrylic acid, N,N'-methylenebisacrylamide, were prepared by free-radical polymerization in water in the form of thin porous films. The dynamics of the pores filling is quantitatively described on the basis of the Hurst exponents and fractal dimensions by means of ellipsometry.

Keywords: Hurst exponent, surfaces, fractal, polymer, hydrogel, swelling, pores.

Gennadiy Luk'yanov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Associate professor, gen-lukjanow@yandex.ru

Maya Uspenskaya – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Associate professor, mv_ustpenskaya@mail.ru

8. THERMAL PHYSICS AND THEORETICAL HEAT ENGINEERING

METHOD OF THE FREE-CONVECTION HEAT EXCHANGE CALCULATION ON SOLID SURFACES IN A WIDE TEMPERATURE RANGE

A. Sokolov

Method of the free-convection heat exchange calculation on solid surfaces is presented in 110-1000 K temperature range. Analytical form for Rayleigh number in a wide temperature range is presented. The results of the calculation for Rayleigh number are compared with reference data for air. The discrepancy between the above formula and the reference data does not exceed 10%.

Keywords: free convection, Rayleigh number, heat exchange, properties of gases.

Anton Sokolov – Branch of "Research Project Center of Optoelectronic Monitoring Complexes" of FSUE «Central Scientific Research Institute - Comet», engineer, dioux@rambler.ru

9. INFORMATION SECURITY METHODS AND SYSTEMS

MATHEMATICAL ESTIMATION MODELS OF INFORMATION SECURITY SYSTEM INFRASTRUCTURE AT THE ENTERPRISE

Yu. Gatchin, I. Zharinov, A. Korobeynikov

Design mathematical methods of information security system infrastructure at the enterprise are considered. Mathematical models of costs minimization for information security system infrastructure creation and maximization of information security level of the enterprise and results of their practical use are given.

Keywords: information protection, mathematical models.

Yury Gatchin – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Professor, gatchin@ifmo.ru

Igor Zharinov – FSUE «Saint Petersburg Experimental Design Bureau "Electroavtomatika"», Department head, D.Sc., Associate professor, igor_rabota@pisem.net

Anatoliy Korobeynikov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, korobeynikov_a_g@mail.ru

MALWARE DETECTION METHOD BASED ON THE PROGRAM DISTRIBUTION PROCESS ANALYSIS

I. Zikratov, R. Vasilenko

The main problems of traditional methods of malicious software detection, based on the virus databases updating are analyzed. Alternative methods based on cloud computing are considered. A new detection method based on the unknown software propagation analysis is proposed.

Keywords: malicious software, distribution process, reputation services.

Igor Zikratov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Associate Professor, zikratov@cit.ifmo.ru

Roman Vasilenko – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, zyx2145@gmail.com

PROBABILISTIC ANALYSIS MODEL FOR INFORMATION INFLUENCE

A. Gvozdev, I. Lebedev, I. Zikratov

The probabilistic approach of information influence evaluation on the users' opinion in open systems is described. Core statements of mathematical theory for the other probabilistic models creation are proposed.

Keywords: open system, social mind, probabilistic model, information influence.

Aleksey Gvozdev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, a.gvozdev@rcwg.net

Ilya Lebedev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, info@cit.ifmo.ru

Igor Zikratov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Associate Professor, zikratov@cit.ifmo.ru

INFORMATION PROTECTION AGAINST INTENTIONAL ELECTROMAGNETIC INFLUENCES

L. Batalov, M. Zhukovsky, R. Kirichek, B. Lazarev

Procedures and consequences of intentional electromagnetic influence on the Ethernet networks using ultra short electromagnetic pulses are described. A probabilistic error origin model in data transfer over the Ethernet for such actions is represented.

Keywords: information security, electromagnetic interferences, ultra short pulses, probability of errors.

Lev Batalov – Federal State Unitary Enterprise «CenterInform», engineer – programmer, l.batalov@center-inform.ru

Michail Zhukovsky – Federal State Unitary Enterprise «CenterInform», Head of Research center, PhD, m.zhukovsky@center-inform.ru

Ruslan Kirichek – Federal State Unitary Enterprise «CenterInform», senior staff scientist, r.kirichek@center-inform.ru

Boris Lazarev – Federal State Unitary Enterprise «CenterInform», Head of Group, PhD, senior staff scientist, tiger50@mail.ru

10. INSTRUMENT-MAKING TECHNIQUE. ORGANIZATION OF PRODUCTION INTEGRATED ENGINEERING DESIGN TECHNOLOGIES FOR POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

E. Yablochnikov, S. Vasilkov, Y. Fomina

The necessity of information and telecommunication platform (ITP) creation is proved for solving the selection and design of new polymer composites in the field of instrument-making. Software systems for design of new materials and structural analysis of products with the manufacture technology are defined. The functional diagram of an integrated solution is represented. The injection molding is considered as the basic technology of product manufacturing. The requirements to the ITP dataware are defined in view of material database usage, both by users and software systems.

Keywords: polymer composite materials, information and telecommunication systems, CAE-systems, automation of product design, materials database.

Evgeniy Yablochnikov – Saint Petersburg National research University of Information Technology, Mechanics and Optics, Department head, PhD, Associate professor, eugeniy@bee-pitron.spb.su

Sergey Vasilkov – Saint Petersburg National research University of Information Technology, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, vasilkovsd@mail.ru

Yulia Fomina – Saint Petersburg National research University of Information Technology, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, vasilkovsd@mail.ru

PRODUCT SURFACE QUALITY PROVIDING ON ELECTRO-EROSION EQUIPMENT

V. Valetov, V. Medunetskiy

Expediency of electro-erosion facilities in preparing surfaces with determined micro geometric surface parameters while creating formative matrix is justified. Solutions of technological tasks are presented, which show the expediency of electro-erosion facilities in simplifying of creating technology and efficiency increase with saving specified surface quality. In addition, experiments results are presented, showing failure of parametrical method as a method of surface roughness assessment, and showing influence of instrument-electrode surface roughness on the speed of blank-product surface processing.

Keywords: surface roughness, electro-erosion processes and facilities, nonparametric criteria of surface roughness assessment.

Vyacheslav Valetov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, valetov.v@mail.ru

Vitaliy Medunetskiy – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, medunezkij@yandex.ru

11. ECONOMICS AND FINANCES. MANAGEMENT

MANAGEMENT SCIENTIFIC PRECONDITIONS FOR INTELLECTUAL PROPERTY IN THE PROBLEMS DECISION OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RUSSIA

S. Murashova

Basic directions for formation of management scientific preconditions for intellectual property are stated, interrelation of strategic innovative development of the country with intellectual property management at business-units level is shown and modern approach to commercialization of intellectual activity results is reflected.

Keywords: intellectual property, business subjects, business units, technocratic theories, non-material well-being, competitiveness, innovative development.

Svetlana Murashova – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, fpp5@list.ru

METHODOLOGICAL BASIS OF SUSTAINABILITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF BUSINESS STRUCTURES AS SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

O. Tikhomirova

The article discusses the methodological and theoretical basis of sustainability and sustainable development of business structures as socio-economic systems. Issues of sustainability and sustainable development are of increasing relevance and acuteness in the circumstances of unstable socioeconomic situation, financial crises, having become increasingly frequent in the context of globalization. Definitions of sustainability, sustainable development, an analysis of the essence of sustainability are proposed; the main criteria and factors of sustainable development and principles of sustainability of business structures are considered.

Keywords: business structures, socio-economic systems, sustainability, sustainable development, principles of sustainability, criteria of sustainable development, factors of sustainable development, coevolution.

Olga Tikhomirova – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, Associate professor, olgatikhomirov@yandex.ru

RISK MANAGEMENT SYSTEM IMPROVEMENT FOR GOODS AND VEHICLES MOVEMENT THROUGH CUSTOMS BORDER OF THE RUSSIAN FEDERATION

A. Dayub, N. Kurkina

Risk management system for goods and vehicles movement through customs border of the Russian Federation is analyzed. Basic elements of the system mechanism are considered. This system application results are analyzed.

Keywords: risk, goods, customs control, risk management system.

Anastasiya Dayub – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate professor, PhD, anastasiya.dayub@gmail.com

Natalia Kurkina – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, engineer, gav-kitten@yandex.ru

INNOVATION STAGES DISTRIBUTION OF VENTURE CAPITAL INVESTMENTS IN RUSSIA AND THE UNITED STATES

G. Shevelev

A balanced system of venture capital investment is necessary for the development of innovation sphere. The absence of investors at one innovation development stage threatens to decrease the speed of innovation sphere development and the loss of perspective projects and designs. This article provides the analysis of investments by innovation stages in the US and Russia, which identifies significant problems in the innovations development in the Russian Federation.

Keywords: innovation, venture capital investment, seed stage and start-up, investment innovation chain, business angel, venture fund.

Georgiy Shevelev – “Severnaya Veneciya” Ltd., Commercial director, shev8@yandex.ru

12. NEW TECHNOLOGIES IN EDUCATION

PROJECT MANAGEMENT MODEL FOR UNIVERSITY MAIN COMPETENCE-ORIENTED EDUCATIONAL PROGRAMS

A. Pershin

Project management model for university main competence-oriented educational programs is suggested; its principle parts are considered. The structure of main competence-oriented educational program is described and the structure of graduation student competence model as well. Step-by-step approach for creation of graduation student competence model is shown.

Keywords: management model, main educational program, graduation student competence model/

Alexander Pershin – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, pershin_zan@mail.ru

13. BRIEF REPORTS

TEMPERATURE DEPENDENCE OF REFRACTION INDEX FOR ETHYLENE GLYCOL AND PROPYLENE GLYCOL AQUEOUS SOLUTIONS

N. Belov, S. Lapshov, A. Patyaev, A. Sherstobitova, A. Yas'kov

According to demands of industrial refractometric technologies, temperature dependence of refractive index and temperature factor data in the range of 10 to 60 °C of aqueous solutions of ethylene glycol and propylene glycol with concentration $k = 0\text{--}60\%$ are given.

Keywords: refraction index, temperature factor, ethylene glycol, propylene glycol.

Nikolay Belov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, senior staff scientist, ttoe@hotmail.ru

Sergey Lapshov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, serglapshov@gmail.com

Alexander Patyaev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, neverfall86@gmail.com

Alexandra Sherstobitova – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, assistant, ashev87@mail.ru

Andrey Yas'kov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, ttoe@hotmail.ru

SOFTWARE ARCHITECTURE FOR THE AUTOMATED WORKPLACE OF THE ONBOARD AVIATION EQUIPMENT DEVELOPER

Yu. Gatchin, I. Zharinov, O. Zharinov

The architecture for the automated workplace of the onboard aviation equipment developer is considered. The scheme is given and the basic functional components being a part of specialized automated design system, used on the aviation enterprise, are described.

Keywords: onboard equipment, design automation, software.

Yury Gatchin – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department head, D.Sc., Professor, gatchin@ifmo.ru

Igor Zharinov – FSUE «Saint Petersburg Experimental Design Bureau "Electroavtomatika"», Department head, D.Sc., Associate professor, igor_rabota@pisem.net

Oleg Zharinov – Saint Petersburg State University of Aerospace Equipment, Associate professor, PhD, Associate professor, zharinov@hotmail.ru

LIFE CYCLE “DESIGN-MANUFACTURE-OPERATION” REALIZATION FOR ONBOARD EQUIPMENT AT THE AVIATION INDUSTRY ENTERPRISES

I. Gatchin, I. Zharinov, O. Zharinov, P. Kosenkov

The technology of life cycle support for aviation production within the framework of “design-manufacture-operation” is considered. Interaction scheme for manufacturers, suppliers and users of onboard equipment and the structure of the product account in a corporate electronic database is given.

Keywords: onboard equipment, logistics, design-manufacture-operation.

Ivan Gatchin – JSK “Baltica”, engineer, gatchin@mail.ifmo.ru

Igor Zharinov – FSUE «Saint Petersburg Experimental Design Bureau "Electroavtomatika"», Department head, D.Sc., Associate professor, igor_rabota@pisem.net

Oleg Zharinov – Saint Petersburg State University of Aerospace Equipment, Associate professor, PhD, Associate professor, zharinov@hotmail.ru

Pavel Kosenkov – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, assistant, microtrigger@gmail.com

ON THE INFORMATION SECURITY WORKS AGAINST INTENTIONAL ELECTROMAGNETIC INFLUENCES

M. Zhukovsky, V. Chvanov

Proposals on organization and maintenance of works on information security against deliberate electromagnetic influences are given. These proposals are the basis of the state standard specification project being developed by the authors.

Keywords: information security, electromagnetic influences.

Michail Zhukovsky – Federal State Unitary Enterprise «CenterInform», Head of Research center, PhD, m.zhukovsky@center-inform.ru

Vladimir Chvanov – Federal State Unitary Enterprise «CenterInform», Head of section, PhD, senior staff scientist, v.chvanov@center-inform.ru

CONSOLIDATION OF DIVERSE CHANNELS OF COMPUTER NETWORK

A. Osipov, V. Bogatyrev

Options for wired and wireless channels of computer networks merging into a single redundant environment are analyzed.

Keywords: multiple access, wireless networks, reliability, redundancy of exchange links.

Andrey Osipov – National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, postgraduate, osipov-andrey@mail.ru

Vladimir Bogatyrev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Vladimir.bogatyrev@gmail.com

ESTIMATION OF FUNCTIONAL SAFETY FOR THE DUPLICATED COMPUTING SYSTEMS

V. Bogatyrev, S. Bibikov

The article deals with specified estimation of functional safety for the duplicated computing system in view of periodicity of control and transition possibility in a dangerous condition because of not detecting the refusal of one of system computers.

Keywords: safety, dangerous refusal, protected refusal, duplicated system.

Vladimir Bogatyrev – Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Vladimir.bogatyrev@gmail.com

Sergey Bibikov – «Speech Technologies Centre», Ltd., Deputy technical director bibikov@speechpro.com

FINANCIAL PLANNING SYSTEMS REVIEW IN THE MARKET OF KAZAKHSTAN

M. Baimuldin, A. Shaugumbekova

This article discusses basic functions and requirements for the system of financial planning. The most common systems in Kazakhstan are analyzed in agreement with the requirements.

Keywords: financial planning, Kazakhstan, information systems.

Murat Baimuldin – Karaganda State Technical University, applicant, PhD, Associate professor, baimuldinmurat@mail.ru

Aliya Shaugumbekova – Karaganda State Technical University, postgraduate, sha_liya@mail.ru

MUSICAL COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE MODERN PROFESSIONAL MUSIC EDUCATION

V. Belichenko, I. Gorbunova

This article examines the specific changes that are made in different areas of the musical education by the musical computer technologies. The article highlights the main components of modern hardware and software to implement the cycle of educational programs in the "Musical Computer Technologies" school.

Keywords: musical-computer technologies, musical computer, musical-computer technologies in education, innovative educational complex.

Vladimir Belichenko – Smolny Institute of the Russian Academy of Education, senior lecturer, aragorn-studio@mail.ru

Irina Gorbunova – Herzen State Pedagogical University of Russia, Professor, D.Sc., Professor, gorbunova@herzen.spb.ru