

ВЕСТНИК

Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 4 (25)

Главный редактор

доктор экономических наук
профессор
Г. П. БЕЛЯКОВ

Заместители главного редактора:

доктор технических наук
профессор
И. В. КОВАЛЕВ

доктор технических наук
профессор
Л. Г. ШАЙМАРДАНОВ

Редакционная коллегия:

С. С. АПЛЕСНИН
Е. Н. ГОЛОВЕНКИН
Ю. В. ЕРЫГИН
М. В. КРАЕВ
В. Д. ЛАПТЕНКО
А. Н. ЛОВЧИКОВ
А. В. МЕДВЕДЕВ
В. В. МОСКВИЧЕВ
В. А. ОХОРИН
К. Г. ОХОТКИН (отв. секретарь)
С. И. СЕНАШОВ
В. Г. СОМОВ

Учредитель

Сибирский
государственный
аэрокосмический
университет
имени академика
М. Ф. Решетнева

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

«Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева» (Вестник СибГАУ) – межрегиональный научный журнал, содержащий результаты научных исследований в области естественных, технических и прикладных наук по вопросам проектирования, производства и эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники, а также экономики

Представленные в журнал статьи публикуются после обязательного рецензирования и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.vestnik.sibsau.ru)

Периодичность – 4 раза в год
Специальный выпуск – 1 раз в год

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки – <http://www.elibrary.ru> и сайте журнала (www.vestnik.sibsau.ru)

Журнал включен в каталоги:
русской прессы «Роспечать» (МАП) – 11399;
объединенный «Пресса России» – 39263

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, проспект имени газеты
«Красноярский рабочий», 31, П-415
Тел./факс (391)291-90-19
E-mail: vestnik@sibsau.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникации и охраны культурного наследия, свидетельство ПИ № ФС77-22189 от 27.10.2005 г.

Журнал включен ВАК России в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук»

При перепечатке или цитировании материалов из журнала «Вестник СибГАУ» ссылка обязательна

Редакторы Т. Е. Ильющенко, К. С. Мирошникова,
Е. Г. Некрасова, О. А. Плехова, А. И. Эберле
Редактор английского текста Е. А. Гончаров
Компьютерная верстка М. А. Белоусовой
Подп. в печать 22.12.2009. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 21,0.
Уч.-изд. л. 34,2. Тираж 1000 экз. Заказ 87/70. С 125/9.
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Суховольской Ю. П.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2-241.

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сибирскому государственному аэрокосмическому университету имени академика М. Ф. Решетнева 30 декабря 2009 г. исполняется 50 лет. СибГАУ был создан на основании Постановления Правительства СССР как завод-втуз при Красноярском машиностроительном заводе, на котором было начато производство баллистических ракет дальнего действия.

За время своего развития вуз прошел путь от завода-втуза до современного аэрокосмического университета (с 1989 г. – Институт космической техники, 1992 г. – Сибирская аэрокосмическая академия, 2002 г. – университет). С целью укрепления взаимодействия вуза и предприятий, более полного использования преимуществ системы «завод-втуз» для решения приоритетных задач развития ракетно-космической отрасли совместным приказом Минобщемаша СССР и Минвуза РСФСР были определены базовые для вуза предприятия: НПО прикладной механики, в настоящее время – ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» (ОАО «ИСС») и Красноярский машиностроительный завод, в настоящее время – ОАО «Красмаш».

В настоящее время в университете обучается 11,5 тысяч студентов. Учебный процесс обеспечивают 131 доктор наук, профессор, 356 кандидатов наук, доцентов. В образовательном процессе участвуют аэрокосмический колледж, 2 филиала университета (в г. Железногорске и г. Зеленогорске), 6 институтов (космической техники; космических исследований и высоких технологий; машиноведения и инноватики; информатики и телекоммуникаций; гражданской авиации; военного обучения), 7 факультетов, 51 кафедра, комплекс научно-образовательных структур. Университет имеет развитую спортивную и социальную сферу, включающую несколько спортивных залов, дворец водного спорта, студенческий Дворец культуры, три общежития, базу отдыха.

Красноярский край – лидер в стране по созданию космических аппаратов (КА) и систем – является сибирским центром отечественного спутникостроения. Свыше 70 % КА национальной спутниковой группировки создано здесь, в ОАО «ИСС», владеющим технологиями полного цикла создания космических комплексов от проектирования до управления КА. Весомый вклад в развитие ракетно-космической промышленности вносят также ОАО «Красмаш», ФГУП «Радиосвязь», ЦКБ «Геофизика».

СибГАУ является составной частью сибирского центра спутникостроения, поэтому развитие НИР в вузе неразрывно связано с ракетно-космической тематикой.

В основу планирования и организации научной деятельности в университете положен «Межведомственный перечень приоритетных направлений развития

науки, техники и технологий, в том числе критических технологий, реализуемых в ракетно-космической промышленности в интересах создания перспективных космических средств различного целевого назначения на 2008–2012 гг.». На основе данного перечня разработаны основные приоритетные научно-технические направления СибГАУ на период до 2015 г., согласованные с Роскосмосом, Президиумом Красноярского научного центра СО РАН (КНЦ СО РАН) и руководителями базовых предприятий и академических институтов – основных партнеров университета.

Таковыми приоритетными научно-техническими направлениями развития СибГАУ являются:

1. Космические информационные системы.
 - 1.1. Автоматические космические аппараты.
 - 1.2. Использование космических информационных систем.
 - 1.3. Малые космические аппараты.
 - 1.4. Космическое материаловедение и системы энергообеспечения.
2. Замкнутые обитаемые космические системы.
3. Производство ракетно-космической техники.
 - 3.1. Технологии производства, испытания и контроля изделий РКТ.
 - 3.2. Организация производства и управление созданием РКТ.

В структуре СибГАУ организованы такие научно-исследовательские институты, как НИИ ракетно-космической техники и технологий, Сибирский центр электронно-лучевых технологий, НИИ современной экономики и регионального прогнозирования. При университете с активным участием его преподавателей и сотрудников действует ОАО «Сибирский НИИ технологии машиностроения». В настоящее время на базе университета работают три научно-образовательных центра: Институт космических исследований и высоких технологий, Замкнутые космические системы и Космические системы и технологии, а также десять инновационных структур. Создано два Центра коллективного пользования оборудованием, и в двух ЦКП вуз является участником. В составе университета имеется более тридцати проблемных, отраслевых и научно-учебных лабораторий, включая 7 лабораторий, созданных совместно с СО РАН, действует 9 студенческих КБ. В инновационную структуру университета интегрировано более 10 наукоемких и внедренческих фирм и малых предприятий.

Базовой научной школой СибГАУ в области космических систем является созданная в 1960–1970 гг. научная школа академика М. Ф. Решетнева – генерального конструктора космических систем (в период 1959–1996 гг.). Все последующие годы научная школа академика М. Ф. Решетнева развивалась, формируя новые научные направления создания космичес-

ких систем, которые постепенно выделились в самостоятельные научные школы.

Космические информационные системы – основное приоритетное направление, по которому университет занимает лидирующие позиции в РФ в подготовке кадров и в области исследований и разработок. Оно связано с разработкой и модернизацией отечественных космических информационных систем, совершенствованием автоматических космических аппаратов, систем и комплексов различного назначения: фиксированной и мобильной связи, телевидения, навигации, геодезии, ретрансляции. Это направление включает прикладные исследования, проектирование и разработку перспективных платформ автоматических КА оборонного и гражданского назначения, малых космических аппаратов, систем управления КА на орбите, методов использования космических информационных систем.

Стратегическими партнерами СибГАУ в этой области являются ОАО «ИСС», Отраслевой центр крупногабаритных трансформируемых механических систем Роскосмоса, ФГУП НПП «Радиосвязь», КНЦ СО РАН, ИВМ СО РАН, ИКИ РАН, МАИ, СГАУ, СФУ, МГТУ имени Н. Э. Баумана, Берлинский технический университет, с которыми университет имеет договоры о сотрудничестве в научно-образовательной деятельности и совместном использовании уникального научного оборудования.

Реализацию указанного направления в университете обеспечивают Институт космической техники, Институт информатики и телекоммуникаций, три базовых кафедры в ОАО «ИСС», ресурсный центр «Космические аппараты и системы», НОЦ «Институт космических исследований и высоких технологий», НОЦ «Космические системы и технологии», Центр космического мониторинга, студенческий ЦУП, ряд научно-учебных лабораторий.

На базе НОЦ «Космические системы и технологии» ведутся работы по созданию малых космических аппаратов (МКА) серии «Юбилейный».

Студенческий Центр управления полетами принимает и обрабатывает телеметрическую и целевую информацию от отечественных и зарубежных МКА, в том числе в рамках сотрудничества с вузами-партнерами: МАИ, МГТУ имени Н. Э. Баумана, СГАУ и Берлинским техническим университетом.

Направление *Замкнутые обитаемые космические системы* включает в себя следующие крупные области фундаментальных и прикладных исследований и разработок инновационного характера: биорегенеративные системы жизнеобеспечения; методы и оборудование создания замкнутых систем; надежность и безопасность замкнутых систем. Проблема создания безопасных биолого-технических систем с высокой степенью замкнутости массообменных процессов является одной из ключевых в освоении космического пространства, в реализации которого на ближнесроч-

ную и среднесрочную перспективу представляется высадка человека на Луну и Марс.

Стратегическими партнерами СибГАУ являются ИБФ СО РАН, СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН, ОАО «ИСС», ОАО «Красмаш», СФУ, с которыми университет заключил договоры и соглашения о сотрудничестве и совместном использовании уникального научного оборудования.

Реализацию данного приоритетного направления в университете обеспечивают Институт информатики и телекоммуникаций и Институт машиноведения и инноватики. С целью интеграции научного и образовательного потенциала СибГАУ, ИБФ СО РАН и СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН, подготовки научных и инженерных кадров, разработки научных, технологических и инженерно-технических основ создания нового поколения систем жизнеобеспечения для имитации круговоротных массообменных процессов высокой степени замкнутости, безопасности и надежности создан НОЦ «Замкнутые космические системы», включающий базовые кафедры замкнутых экосистем и безопасности технических систем, а также объединенные лаборатории экспериментального моделирования массообменных процессов различной степени замкнутости, безопасности жизнедеятельности и инженерно-технических вопросов автоматизации и безопасности технических систем.

При проведении фундаментальных и прикладных исследований в области создания нового поколения систем жизнеобеспечения исключительно важное значение имеет подготовка молодых научных и инженерных кадров, способных реализовать поставленные задачи. Организация учебного процесса происходит на основе изучения и использования уникального в мировом масштабе биорегенеративного комплекса БИОС-3. Учебный процесс интегрирован с научно-исследовательской работой студентов, магистров и аспирантов в ИБФ СО РАН и СКТБ «Наука». Особенностью данного направления являются индивидуальные учебные планы и графики учебного процесса.

Научное направление *Производство ракетно-космической техники* включает в себя фундаментальные и прикладные исследования и разработки инновационного характера по следующим направлениям: новые материалы и покрытия; технологии и оборудование; контроль и испытания РКТ; организация производства и управление созданием РКТ.

Стратегическими партнерами СибГАУ являются ОАО «Красмаш», ОАО «ИСС», ФГУП «ЦКБ „Геофизика“», ФГУП «НПП „Радиосвязь“», СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН, Институт физики СО РАН, Институт физики полупроводников СО РАН, Институт машиноведения РАН, Институт проблем управления РАН, МАИ, МГТУ имени Н. Э. Баумана, МАТИ-РГТУ, с которыми университет имеет договора о сотрудничестве в научно-образовательной деятельности.

Реализацию данного приоритетного направления в университете обеспечивают Институт машиноведения

и инноватики, Институт космической техники, НИИ ракетно-космической техники и технологий, Сибирский исследовательский центр электронно-лучевых технологий, НИИ современной экономики и регионального прогнозирования, НОЦ «Институт космических исследований и высоких технологий», НОЦ «Космические системы и технологии», финансово-экономический факультет, факультет международного бизнеса, ряд научных лабораторий. На базе ИФП СО РАН организован филиал кафедры технической физики СибГАУ.

В лаборатории аморфных и нанокристаллических материалов выполнен проект «Формирование нанокристаллических аморфных покрытий на основе композитов редкоземельных окислов, защищающих электронные системы КА от воздействия космического и искусственного СЖР-излучений». Испытания покрытий проводятся в настоящее время на борту действующего МКА «Юбилейный-1» с помощью прибора РАДЭК, разработанного и изготовленного студентами и аспирантами СибГАУ.

В лаборатории систем электропитания КА разработано и внедрено на ОАО «ИСС» уникальное оборудование для контроля и испытаний систем электропитания космических аппаратов, контроля режимов литий-ионных аккумуляторов и модулей батарей, контроля энергетических и динамических характеристик солнечных батарей на основе арсенида галлия.

Сотрудниками кафедры информационно-управляющих систем под руководством доктора технических наук В. Д. Лаптенка разработан и внедрен в ряде цехов ОАО «Красмаш» автоматизированный комплекс управления полным циклом электронно-лучевой сварки изделий космической техники. Разработана система стабилизации режимов электронно-лучевой сварки при сквозном проплавлении в условиях работы с блоком функционального сканирования и возможностью автоматического слежения за ходом электронного луча по линии контакта свариваемых деталей. Запланированы поставки комплекса на другие машиностроительные предприятия.

В Сибирском исследовательском центре электронно-лучевых технологий разработан ряд изделий и приборов гражданского назначения и внедрен в производство на ОАО «Красмаш». Разработки отмечены дипломами многих промышленных выставок. Среди них изолирующие воздушные аппараты, предназначенные для защиты органов дыхания и зрения человека при проведении аварийно-спасательных работ в чрезвычайных ситуациях по заказу МЧС России; облегченные сварные баллоны высокого давления; новые портативные аппараты малого веса, предназначенные для газовой сварки, пайки, резки металлов в полевых монтажных условиях и в помещениях. Использование космических технологий позволило сделать устройства значительно легче, надежнее и дешевле зарубежных аналогов.

Одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений космического материаловедения и нанотех-

нологий является разработка технологий, связанных с использованием глубокого и чистого вакуума, образующегося в открытом космосе вблизи орбитальных станций благодаря эффекту «молекулярного экрана». К таким технологиям относится молекулярно-лучевая эпитаксия с тигельными и газовыми источниками молекулярных пучков. Научные основы технологии выращивания наногетероструктур в условиях глубокого вакуума для создания новых материалов и структур, используемых в фотоприемных устройствах и солнечных батареях, разрабатываются в филиале кафедры технической физики СибГАУ на базе ИФП СО РАН.

Решение ключевых задач управления инновационной деятельностью на предприятиях ракетно-космической промышленности заключается в эффективном использовании имеющегося потенциала их инновационного развития. В рамках этого направления в университете проводятся научные исследования, финансируемые как предприятиями отрасли, так и российскими научными фондами. Результаты этих исследований использованы при реализации проектов реструктуризации системы управления на ОАО «Красмаш», ОАО «ИСС» и других предприятиях отрасли. Учеными СибГАУ выполнены научно-практические разработки, учитывающие особенности и условия развития ракетно-космической промышленности на современном этапе. Важнейшими среди них являются следующие: типология процессов реструктуризации на предприятиях РКП и методический инструментальный оценки влияния способа реструктуризации на предельные показатели инновационного развития предприятий отрасли и масштабы интеграции в региональную экономику; формы и методы государственного регулирования, финансового, налогового и экономического стимулирования процессов коммерциализации инновационного потенциала предприятий РКП; создание вертикально-интегрированных структур; концепция инновационного развития конверсионных производств предприятий РКП и методологические принципы управления процессами интеграции предприятий РКП в рыночную экономику на основе использования имеющегося инновационного потенциала.

В целом, только за 2009 г. объемы НИОКР, выполненных на базе СибГАУ для организаций космической отрасли, оборонно-промышленного комплекса и высокотехнологичных секторов экономики, превышают 150 млн руб. Для увеличения финансирования НИР в СибГАУ реализуется централизованная грантовая политика и создана система фандрайзинга. За три года общий объем НИОКР университета возрос на 75 %. Объем научных исследований, приходящийся на одного преподавателя, возрос с 70 тыс. руб. в 2006 г. до 250 тыс. руб. в 2009 г. Научные коллективы СибГАУ принимают активное участие в выполнении НИОКР, финансируемых в рамках тематических планов, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным

направлениям развития науки и техники» и др. Так, по АВИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» в 2008 г. вузом представлено 24 заявки, из которых 15 признаны победителями. В 2009 г. на различные мероприятия ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» СибГАУ представил 26 заявок, 18 из которых признаны победителями. Всего за 2006–2008 гг. на участие в программах Минобрнауки РФ, конкурсах грантов различных фондов сотрудниками СибГАУ было подано более 300 заявок (в том числе 90 заявок молодых ученых). Получено 8 грантов Президента для молодых ученых, 62 гранта РФФИ, РГНФ, Минобрнауки РФ, Красноярского краевого фонда науки. В научных исследованиях ежегодно участвуют свыше 600 преподавателей, аспирантов и докторантов. К проведению исследований привлекается более 250 студентов и магистров с оплатой работ.

В университете эффективно развивается система подготовки и аттестации кадров высшей квалификации, которая включает аспирантуру (35 специальностей по 6 направлениям), докторантуру (5 специальностей) и 7 докторских диссертационных советов, в том числе 5 по специальностям космической отрасли. В аспирантуре обучается свыше 300 человек, а в докторантуре – 22 человека. Процент защит аспирантов СибГАУ после окончания обучения существенно превышает среднероссийские показатели и составляет в среднем за последние три года 42 % от числа поступивших в аспирантуру. Особое внимание вузом уделяется подготовке кадров высшей квалификации для базовых предприятий. Сейчас в целевой аспирантуре университета обучается 71 работник отрасли.

В СибГАУ большое внимание уделяется поддержке молодых ученых. Создана внутривузовская система поддержки молодых кандидатов и докторов наук, которые получают персональные наработки после защиты диссертации в течение 3 лет. Введена практика ежегодного конкурса грантов для молодежных инновационных проектов с последующей реализацией в бизнес-инкубаторе.

В 2009 г. университет признан лидером в подготовке кадров для научных организаций и предприятий оборонно-промышленного комплекса по направлению *Космические системы*. Подтверждением конкурентной силы вуза в этой сфере является решение Минобрнауки РФ при поддержке Роскосмоса о создании на базе СибГАУ по результатам конкурсного отбора в соответствии с ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., отраслевого ресурсного центра коллективного пользования «Космические аппараты и системы». По результатам проведенного конкурса ресурсные центры в

области авиационной и ракетно-космической техники создаются при аэрокосмических вузах страны: СГАУ – по направлению «Авиационное двигателестроение»; МАИ – «Производство летательных аппаратов»; МАТИ – «Авиационные материалы»; МГТУ имени Н. Э. Баумана – «Ракетостроение»; СибГАУ – «Космические аппараты и системы».

Создание на базе СибГАУ отраслевого ресурсного центра коллективного пользования Роскосмоса явилось важным шагом дальнейшего развития широкого спектра НИОКР, концентрации научного потенциала многих научных и проектных организаций на создание нового поколения автоматических космических систем оборонного и народнохозяйственного назначения с техническими характеристиками мирового уровня, с энерговооруженностью до 16 кВт и сроком активного существования свыше 15 лет.

Для доведения отдельных результатов исследований и разработок до стадии внедрения и организации производства университет участвует в создании краевого технопарка на базе ОАО «Красмаш» с участием СФУ, КНЦ СО РАН и городского бизнес-инкубатора. С целью трансфера технологий, созданных в космической отрасли, при университете развивается сеть малых инновационных предприятий.

На базе университета ежегодно проводится более тридцати международных и всероссийских научных симпозиумов и конференций, среди которых широко известна ежегодная Международная конференция «Решетневские чтения» по перспективным научным направлениям в области авиационной и ракетно-космической техники. Вуз издает «Вестник СибГАУ», включенный в перечень ВАК России.

Развитие вышеперечисленных приоритетных научно-технических направлений университета позволяет СибГАУ занять сильные позиции на рынке образовательных услуг и позиционировать себя как *исследовательский космический университет*, перейти на качественно новый уровень выполнения совместных с партнерами научно-образовательных программ, развития фундаментальной и прикладной науки, подготовки научно-педагогических кадров для организаций и предприятий космической отрасли и высокотехнологичных секторов экономики.

Глубокая интеграция университета с предприятиями космической отрасли и высокотехнологичных секторов экономики, а также академическими научными учреждениями оказывает существенное влияние на развитие предприятий космической и других высокотехнологичных отраслей России и Сибирского региона, способствует повышению обороны и безопасности страны, ее конкурентоспособности на мировом рынке высокотехнологичной продукции.

*Г. П. Беляков,
профессор, ректор*

СИБИРСКАЯ ИННОВАЦИОННАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Аэрокосмическое образование занимает особое место в российской образовательной системе. Совершенно справедливо его относят к категории элитного профессионального образования, доказавшего свою многолетнюю эффективность высокими достижениями отечественной авиации и космонавтики. Несмотря на серьезные социально-экономические и производственные проблемы, аэрокосмическая промышленность России производит изделия ракетно-космической и авиационной техники, которые не имеют мировых аналогов и по многим эксплуатационным и тактико-техническим характеристикам превосходят лучшие зарубежные образцы.

Высокая сложность объектов аэрокосмической техники, специфичность используемых технологий, наличие оборонного компонента и динамика развития производства, требуют знания не только теоретических основ особенностей проектирования и изготовления этой техники, но и всех этапов ее жизненного цикла. Это определяет центральную роль системного подхода в задачах оптимального построения образовательных программ подготовки специалистов в области авиации, ракетостроения и космонавтики.

Именно на этих принципах преемственности, последовательности и непрерывности построена и успешно реализуется в течение пятидесяти лет инновационная интегрированная система подготовки высококвалифицированных специалистов в Сибирском государственном аэрокосмическом университете имени академика М. Ф. Решетнева.

На обширной Сибирско-Дальневосточной территории Российской Федерации СибГАУ является единственным профильным аэрокосмическим вузом, осуществляющим комплексную подготовку инженерных кадров в области проектирования, производства и испытаний ракетно-космической техники, а также эксплуатации и обслуживания авиационной техники.

Выпускники университета составляют основу инженерного кадрового корпуса крупнейших предприятий ракетно-космического комплекса Сибирского региона, успешно трудятся на авиапредприятиях и в авиакомпаниях Западной и Восточной Сибири. В своей профессиональной деятельности они активно участвуют в создании космических информационных систем, космических аппаратов связи, навигации, геодезии на одном из основных предприятий космической отрасли России ОАО «Информационные спутниковые системы имени академика М. Ф. Решетнева», выполняют ведущую роль в производстве баллистических ракет морского базирования и разгонных блоков для космических ракет-носителей на крупнейшем ракетно-космическом предприятии страны ОАО «Красноярский машиностроительный завод», обеспечивают техническую эксплуатацию современных отече-

ственных и зарубежных воздушных судов в структурах гражданской авиации.

Подготовка высококвалифицированных специалистов в Сибирском государственном аэрокосмическом университете базируется на классических принципах отечественного аэрокосмического образования, вместе с тем в красноярскую систему обучения привнесены нетрадиционные формы и методы, обусловленные конкретными условиями деятельности вуза как одного из первых в стране завода-вуза.

Постановление Совета Министров СССР от 30 декабря 1959 г. № 1425 «Об организации заводов-вузов» явилось одним из самых важных государственных решений того времени для высшей технической школы, поскольку в нем впервые на новый уровень были подняты вопросы интеграции вузов с конкретными отраслями народного хозяйства. Этим постановлением правительства Красноярскому машиностроительному заводу было поручено обеспечить эффективную подготовку инженеров ракетно-космических специальностей, которых прежде в Сибири не обучали.

Первоклассная производственная база, образцовая культура производства, совершенная организация труда и система управления, высокая квалификация научно-производственного персонала – это неперемняемые и главные условия для предприятий, при которых создавались в 1960 г. первые пять заводов-вузов. Наряду с Красмашем такими предприятиями стали производственное объединение ЗИЛ в г. Москве, Металлический завод в г. Ленинграде, завод «Ростсельмаш» в г. Ростове-на-Дону, завод счетно-аналоговых машин в г. Пензе. В то время перечисленные предприятия имели стабильную и высокую потребность в инженерно-технических кадрах, поэтому их совместная работа с высшей школой позволила на долговременной основе использовать уникальные возможности новой интегрированной системы подготовки специалистов, которая получила наименование «система завод-вуз».

Как известно, в основе отечественной системы инженерного образования всегда лежали идеи сочетания теоретического обучения с научно-исследовательской работой и профессионально-практической подготовкой студентов. Однако интегрированная система обучения представляет собой более сложную в организационном и методическом отношении образовательную систему, которая может эффективно функционировать только при соблюдении многих условий как со стороны базовых предприятий, так и со стороны вузов.

Интегрированная система обучения предусматривает в структуре учебных планов специальностей совмещение теоретического обучения студентов с их производственной профессиональной работой на базовых

предприятиях. Принципы интегрированного обучения на специальностях ракетно-космического профиля являлись основополагающими на всех этапах развития вуза. Конечно, они не оставались неизменными и определялись задачами приоритетного обеспечения отдельных направлений в создании ракетно-космических комплексов разных поколений и реальными условиями производства. Интегрированная система всегда рассматривалась в вузе как возможность реализации гибких форм образовательной деятельности с учетом индивидуальных способностей и склонностей будущих выпускников к конкретному виду инженерной деятельности: исследовательской, проектной, конструкторской, технологической, производственной. С другой стороны, очевидно, что в современных условиях интеграция с наукоемким и высокотехнологичным производством – это самый эффективный способ вывести своих выпускников на передовые рубежи научно-технического процесса, используя в ходе обучения кадровый, технологический, материально-технический и научный потенциал предприятий.

Гибкость и адаптивность интегрированной системы наглядно иллюстрируется построением графика учебного процесса инженерных направлений подготовки дипломированных специалистов. Так, студенты, обучающиеся по специальностям «Ракетные двигатели», «Системы управления летательными аппаратами», «Технология машиностроения», «Технология и оборудование сварочного производства», в течение одного семестра третьего курса и одного семестра пятого курса совмещают производственную работу на предприятии в первую смену с аудиторными занятиями в университете во вторую смену. Это этап инженерно-производственной подготовки, в когда студенты младших курсов осваивают конкретные рабочие профессии и получают рабочую квалификацию станочника, оператора станков с числовым программным управлением, слесаря, электрика, сварщика. Студенты старших курсов работают на инженерно-технических должностях в цехах, отделах, лабораториях предприятий.

Несколько иначе выглядит учебный план у студентов, обучающихся по специальности «Космические аппараты и разгонные блоки», а также на специализациях «Системы управления и ориентации космических аппаратов», «Технология космического машиностроения», «Системы космической информации и телекоммуникаций». На этих специальностях и специализациях выпускающими являются базовые кафедры, созданные в ОАО «Информационные спутниковые системы». Эти кафедры возглавляют выдающиеся ученые и специалисты, доктора наук, профессора, лауреаты премий высшего уровня – создатели самых современных отечественных космических аппаратов. Большинство преподавателей базовых кафедр являются главными и ведущими специалистами предприятия, имеют ученые степени и звания.

У студентов, обучающихся на базовых кафедрах, инженерно-производственная подготовка проводится в период специализации (два семестра пятого курса), а в течение предыдущих четырех лет студенты учатся по обычной дневной форме обучения. Обучение на базовых кафедрах является элитной формой подготовки, поэтому студенты проходят конкурсный отбор с четким представлением перспектив своей будущей работы в проектно-конструкторских и производственных подразделениях ОАО «ИСС».

Важно отметить, что студенты с самого начала обучения на базовых кафедрах закрепляются за конкретными тематическими направлениями, что превращает учебный процесс в особый вид целевой подготовки, обусловленный не столько формальными взаимными обязательствами студента и предприятия, но, главным образом, творческими взаимоотношениями будущих специалистов и их наставников на производстве.

За период инженерно-производственной подготовки студенты имеют возможность изучить сложные хозяйственные связи и структуру предприятия, узнать реальные технологические проблемы производства, получить навыки профессиональной инженерной и организаторской работы. С новейшими достижениями и особенностями производства студенты знакомятся по технической документации предприятия, а не только по учебникам, которые по инженерным дисциплинам зачастую отстают от темпов создания новейших изделий ракетно-космической техники.

Таким образом, интегрированная система подготовки специалистов способствует тесной увязке методов обучения и индивидуальных форм работы со студентами. Результатом этой работы становятся серьезные инженерные решения и разработки. Особенно это проявляется при выполнении курсовых и дипломных проектов, обычным требованием к которым становится реальность тематики и возможность внедрения в производство.

Интегрированная система подготовки специалистов в СибГАУ является по своей сути инновационной системой и реализуется путем широкого использования современных инновационных технологий обучения, активного внедрения прогрессивных методов научно-педагогической деятельности. Методология и организация профессиональной подготовки специалистов в СибГАУ всегда базировались на самых передовых достижениях науки, техники и технологии. Вместе с тем на рубеже XX–XXI вв. в проектировании, производстве, испытаниях и эксплуатации ракетно-космической техники произошел переход на новые, увязанные между собой процессы и методы, которые в совокупности принято называть технологиями информационной поддержки на всех стадиях жизненного цикла изделий – от проектирования до утилизации объектов.

Получив название CALS-технологий (или ИПИ-технологий), они принципиально изменили систему при-

нения и документирования конструкторско-технологических и управленческих решений. CALS-технологии представляют собой сложную компьютеризированную систему описания производственных и проектных процессов. Их освоение в ракетно-космической промышленности России позволит значительно ускорить циклы создания и выпуска на рынок конкурентоспособных изделий с современными характеристиками.

Применение CALS-технологий основано на взаимосвязанной коллективной работе высококвалифицированных специалистов, владеющих принципами этих технологий. В связи с этим особое внимание в университете уделяется использованию проектно-ориентированной технологии командного обучения студентов, обеспечивающей достижение нового качества инженерного образования.

Для реализации проектно-ориентированного командного обучения университетом совместно с ОАО «ИСС» создан научно-образовательный центр «Космические системы и технологии», в котором студенты различных курсов и специальностей включены в комплексные проектные команды, представляющие собой имитационную модель проектных команд, действующих на предприятии при разработке новых изделий.

В качестве образовательного проекта принят комплексный проект создания малого космического аппарата, реализовать который от идеи до запуска на орбиту можно за время обучения в университете. Формирование проектных команд осуществляется на основе конкурсного отбора с обязательной разработкой индивидуальных учебных планов для каждого студента-участника проекта. Организация процесса управления проектом основана на распределенной Интернет-системе управления (<http://smka.sibsau.ru/>), соответствующей стандарту Project Management Institute, 2004.

Для обработки проектно-ориентированных методов подготовки специалистов в университете уже реализован проект «РАДЭК» (рациональный экран). В процессе выполнения этого проекта студентами под руководством преподавателей вуза и специалистов ОАО «ИСС» создан научно-исследовательский прибор, который установлен на борту малого космического аппарата «Юбилейный», запущенного в 2008 г. ракетой-носителем «Рокот» на высокую круговую орбиту. Управление спутником в определенное время было передано студенческому центру управления полетами СибГАУ. Студенты, участвовавшие в проекте, получили уникальный опыт создания космической техники, приобрели навыки работы в команде.

В настоящее время методология проектно-ориентированного командного обучения продолжает успешно развиваться и становится одним из главных условий создания в ОАО «ИСС» серии малых космических аппаратов. Позитивные результаты педагогической апробации позволяют использовать ее при формировании коммуникативных и профессиональных

компетенций выпускников различных специальностей и направлений подготовки.

С самого начала своей деятельности в 1960 г. вуз осуществлял подготовку инженерно-технических кадров для предприятий оборонно-промышленного комплекса страны, поэтому вполне закономерным является участие СибГАУ в реализации программы подготовки научных работников и специалистов для организаций оборонных отраслей промышленности, принятой Правительством Российской Федерации. Университет является одним из крупнейших исполнителей данной программы для предприятий Федерального космического агентства. Целевой прием в вуз в рамках государственного оборонного заказа составил в 2009 г. 204 человека по одиннадцати программам высшего профессионального образования, 48 человек – по четырем программам среднего профессионального образования, 42 человека – по аспирантуре. Целевая подготовка специалистов для предприятий и организаций ОПК с наибольшей эффективностью реализуется при использовании интегрированной системы обучения. Базовыми предприятиями – заказчиками (ОАО «ИСС», ОАО «Красмаш», ЦКБ «Геофизика») своевременно определены подразделения и рабочие места для проведения практики студентов, разработана тематика индивидуальных заданий. Успешно обучающимся студентам предприятиями выплачивается дополнительная стипендия. Свидетельства о назначении стипендий вручаются студентам руководителями предприятий в торжественной обстановке.

Подготовка специалистов для высокотехнологичных предприятий оборонно-промышленного комплекса органично сочетается в вузе с системой военного образования. Распоряжением Правительства РФ от 26 марта 2008 № 275-р в СибГАУ создан Учебный военный центр, осуществляющий подготовку кадровых офицеров для Ракетных войск стратегического назначения, а также факультет военного обучения для подготовки офицеров запаса по военно-учебным специальностям ракетно-космического профиля.

Комплексный и системный подход к организации интегрированного аэрокосмического образования в СибГАУ получил заслуженное признание. В 2009 г. Министерством образования и науки РФ при поддержке Роскосмоса принято решение о создании на базе СибГАУ ресурсного центра коллективного пользования «Космические аппараты и системы». Созданный в соответствии с задачами Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ресурсный центр СибГАУ предназначен для реализации принципиально новых научно-образовательных задач, связанных с разработкой и внедрением высоких технологий космического производства, подготовкой элитных специалистов и научных кадров в области прикладной космонавтики.

Принципы интегрированного обучения, положенные в основу подготовки инженеров аэрокосмичес-

кого профиля, нашли свое развитие и по другим направлениям образовательной деятельности вуза. Так, при подготовке инженеров-физиков осуществляется тесная кооперация с научными институтами Сибирского отделения Российской академии наук. Здесь реализовано интегрированное обучение в форме «физ-тех», когда на младших курсах основное внимание уделяется фундаментальной подготовке по классической университетской системе. Совмещение учебы с научно-исследовательской работой студентов в лабораториях научных институтов Сибирского отделения РАН осуществляется на старших курсах. В подготовке студентов-физиков в полной мере используется уникальное научное оборудование академических институтов и высшего уровня.

СибГАУ и Красноярский научный центр Сибирского отделения РАН в 2007 г. заключили Соглашение о стратегическом партнерстве, основная цель которого заключается в организации совместной работы по повышению качества подготовки специалистов и научных кадров высшей квалификации путем привлечения ведущих ученых академических институтов к учебному процессу, совместного решения крупных научных проблем, участия в федеральных целевых программах, разработке и экспертизе краевых целевых программ, коллективном использовании научного оборудования, проведении научных конференций и семинаров.

Совместно с академическими институтами СО РАН университетом созданы инновационные научно-образовательные центры «Институт космических исследований и высоких технологий», «Замкнутые космические системы», «Безопасность технических систем», в которых образовательный процесс подготовки бакалавров, магистров, специалистов и аспирантов осуществляется в неразрывной связи с научными исследованиями в области нанотехнологий и космического материаловедения, дистанционного зондирования земной поверхности, моделирования процессов теплообмена в замкнутых космических биосистемах, оценки надежности сложных технических систем и по другим приоритетным фундаментальным и прикладным научным направлениям.

В научном руководстве магистрантам и аспирантам, научном консультировании докторантов, работе в составе диссертационных советов на базе СибГАУ активно участвуют многие ведущие ученые Красноярского научного центра СО РАН, в том числе четыре академика и шесть членов-корреспондентов РАН.

Реализуя комплексную стратегическую программу инновационного развития, Сибирский государственный аэрокосмический университет обеспечивает подготовку кадров для науки, образования и высокотехнологичного производства по широкому спектру как технического, так и естественнонаучного, социально-экономического, гуманитарного направлений. Обучение в СибГАУ осуществляется по 58 програм-

мам высшего, 17 программам среднего профессионального образования и 35 программам послевузовского образования. Учебный процесс по всем формам и уровням образования ведется в шести институтах, семи факультетах, двух филиалах (в закрытых административно-территориальных образованиях г. Железногорск и г. Зеленогорск) и в аэрокосмическом колледже. Все более значительное место в вузе занимает подготовка по межотраслевым направлениям и специальностям, таким как системный анализ, прикладная информатика (по отраслям), управление инновациями, менеджмент высоких технологий.

В вузе в 1994 г. началась работа по освоению многоуровневого образования. К настоящему времени открыта подготовка по 15 направлениям бакалавриата и 46 магистерским программам. Прием в магистратуру в 2009 г. превысил 300 человек, при этом среди поступивших около 30 % были выпускниками других вузов.

Достаточно продолжительный опыт осуществления двухуровневой системы в университете показал ее эффективность при решении проблемы подготовки специалистов высшей квалификации для научной и научно-педагогической сферы деятельности. Некоторые наиболее способные и перспективные выпускники магистратуры в течение 1,5–2-х лет обучения в аспирантуре успешно завершили диссертационные исследования и защитили кандидатские диссертации. Тематика их диссертаций была определена в период магистерской подготовки.

Многоуровневая система образования существенно расширила возможность вуза в развитии международного сотрудничества. Более 15 лет в СибГАУ реализуется программа подготовки бакалавров по направлению «Менеджмент» совместно с государственным университетом штата Нью-Йорк (колледж в г. Онеонта). Российские и американские студенты, обучающиеся по данной программе, могут получать государственные дипломы бакалавра Российской Федерации и США. Программа имеет аккредитацию соответствующих органов обеих стран. Аналогичная программа с 2000 г. открыта совместно с Университетом профессионального образования Fontus (Голландия).

Вместе с приобретением опыта реализации многоуровневой системы обучения в университете сформировалось понимание того, что в новой образовательной среде должны применяться иные формы организации учебного процесса, иные технологии обучения и контроля знаний студентов, существенно отличающиеся от традиционно используемых в отечественной высшей школе. С этой целью в университете в инициативном порядке ведется работа по применению отдельных положений Болонской декларации, способствующих, на наш взгляд, повышению конкурентоспособности и качества подготовки выпускников. Приказом Министерства образования и науки РФ от

13.06.2007 г. № 172 университет включен в перечень вузов, участвующих в инновационной деятельности по переходу на систему зачетных единиц (в порядке эксперимента). Для организации учебного процесса с оценкой трудоемкости в зачетных единицах в СибГАУ разработан комплект нормативной и методической документации, сформирован перечень дисциплин основных образовательных программ с указанием их последовательности и вариативности изучения, установлены формы текущей и промежуточной аттестации. Переработаны рабочие учебные программы с целью повышения доли самостоятельной работы студентов до 60 % общего объема дисциплин, разработан комплекс учебно-методических материалов для внеаудиторной работы.

Система оценки трудоемкости процесса обучения в зачетных единицах должна сопровождаться адекватной системой оценки качества знаний студентов. Поэтому в университете самостоятельно разработана и внедрена рейтинговая система контроля успешности и оценки знаний обучения. Система предусматривает три текущие аттестации студентов в течение семестра с суммированием количества полученных баллов по результатам контроля конкретных разделов изучаемых дисциплин. Использование рейтинговой системы способствовало повышению ответственности и познавательной активности студентов, улучшило посещаемость занятий и ритмичность самостоятельной работы, привнесло элемент состязательности в студенческих группах в достижении более высоких результатов балльно-рейтинговой оценки.

Развитие и укрепление международных связей вуза, аккредитация образовательных программ, позволяющих выпускникам получить квалификацию и итоговый государственный документ об образовании – диплом Российской Федерации и зарубежного государства – вызвали необходимость использовать зарубежный опыт и практику модульной организации учебного процесса по некоторым направлениям подготовки в области экономики и менеджмента. Учебный модуль рассматривается как законченный раздел учебного материала одной дисциплины (предметный модуль) или как автономная логически связанная часть нескольких дисциплин. Преподавание учебного модуля осуществляется в концентрированной форме с учетом межпредметных связей и последовательности изучения материала дисциплины. Планирование и учет трудоемкости освоения образовательных программ по модульной системе осуществляется в зачетных единицах.

Анализ процессов глобализации и тенденций в мировом образовательном пространстве привел руководство СибГАУ к решению о необходимости значительного улучшения подготовки студентов по иностранным языкам. По инициативе ректора в университете принята и реализуется программа усиленной языковой подготовки, которая предусматривает увеличение

объема учебных занятий и периода изучения английского языка. Разработана система стимулирования преподавателей для подготовки методических материалов и чтения лекций по отдельным дисциплинам на английском языке. В университете открыт Ресурсный центр иностранных языков, который имеет значительные аудио- и видеофонды методической и другого вида литературы на иностранных языках, обеспечивает доступ к Интернет-ресурсам зарубежных издательств и виртуальных библиотек посредством поисковой системы «Сигла». Ресурсный центр ведет обширную учебную, методическую и консультационную деятельность, организует мероприятия по проблемам преподавания и изучения иностранных языков.

Активное использование электронных образовательных ресурсов и современных информационных технологий в СибГАУ признано в качестве одной из главных задач модернизации образовательного процесса. В вузе создана система повышенной мотивации профессорско-преподавательского состава к разработке мультимедийных лекций, компьютерной презентации учебного материала, созданию электронных учебных пособий и виртуальных лабораторных работ. По дистанционной технологии обучается более 1500 студентов заочной формы обучения, 22 образовательные программы обеспечены электронными учебно-методическими комплексами дисциплин. В учебном процессе используется 430 электронных учебных курсов, фонд электронных изданий превышает 3000 наименований. Около 20 аудиторий университета и филиалов оснащены мультимедийным оборудованием современного уровня.

Обеспечение гарантий качества подготовки специалистов составляет основу стратегической политики университета. В СибГАУ разработана и внедрена Система менеджмента качества (СМК), построенная на принципах международных стандартов серии ИСО 9000. Базовым стандартом, устанавливающим требования к построению и сертификации СМК, принят стандарт ГОСТ Р ИСО 9001–2001. В процессе формирования СМК разработаны необходимые нормативные и методические документы, описывающие и регламентирующие основные этапы внутренней деятельности вуза. СМК СибГАУ сертифицирована государственным органом по сертификации систем менеджмента качества применительно к деятельности в области образования и научных исследований и включена в государственный регистр систем качества.

Одна из основных функций СМК заключается в постоянном мониторинге образовательного процесса и анализе динамики результатов деятельности вуза. С целью получения независимой оценки уровня знаний студентов, университет регулярно принимает участие в федеральном Интернет-экзамене, который проводится Национальным аккредитационным агентством в сфере образования. Итоговые результаты Интернет-экзамена наряду с результатами текущей и промежу-

точной аттестации студентов служат основанием для принятия корректирующих решений.

Анализируя полувековой этап деятельности вуза по подготовке специалистов в области ракетно-космической и авиационной техники, высокотехнологичного производства, необходимо одновременно принять решение о выборе правильного вектора дальнейшего развития университета как научно-образовательного аэрокосмического центра Сибирского региона. В первую очередь это обусловлено переходом российского высшего образования на уровневую систему подготовки и принятием Федеральных государственных стандартов ВПО (третьего поколения).

Изучение отечественного и зарубежного опыта формирования и реализации образовательных программ аэрокосмического профиля свидетельствует о разно-

образии подходов и позиций вузов, зачастую обусловленных состоянием материальных и финансовых ресурсов, ориентацией на конкретных работодателей, составом научно-педагогического персонала. Интегрированная система аэрокосмического образования имеет целый ряд преимуществ, которые в полной мере реализованы в нашем университете. На современном уровне состояния аэрокосмической промышленности России моноуровневая подготовка инженерных кадров является высоко востребованной и имеет неплохие перспективы в будущем. В этих условиях очень важно не разрушать достижения и традиции отечественного инженерного образования, а осуществлять эволюционные преобразования, соответствующие логике научно-технического прогресса и социально-экономического развития страны.

В. П. Назаров,
профессор, первый проректор

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ МОДУЛЕЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ГЛОНАСС*

Рассмотрена история развития ведущих систем спутниковой навигации. Проведен анализ состояния проблем в области проектирования и внедрения связанных абонентских терминалов ГЛОНАСС. Выявлены проблемы оперативной разработки сверхбольших интегральных схем для ГЛОНАСС. Предложены решения по сокращению сроков проектирования, повышению качества и достоверности информации навигационных приемников за счет расширения вычислительных возможностей встраиваемых микропроцессорных компонентов. Предложена структура интегрированного навигационного процессора параллельной обработки сигнала. Описаны пути развития и намечены перспективы глобального охвата и внедрения навигационных систем.

Ключевые слова: космический, навигация, система на кристалле, микропроцессор, спутник, ГЛОНАСС, GPS.

Сложная и неоднозначная история развития навигационных систем GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия) насчитывает несколько десятков лет.

Идея создания GPS (*Global Positioning System*) зародилась в начале 1960-х гг. К концу 1960-х гг. возникла предшественница GPS – система TRANSIT. С 1978–1986 гг. была создана первая группировка спутников GPS – NAVSTAR (*NAVigation Satellite providing Time And Range*). И, наконец, с 1989 по 1994 гг. произошло окончательное формирование современной конфигурации этой системы.

Глобальная спутниковая навигационная система (ГЛОНАСС) начинает свой отсчет с 1957 г., когда был создан первый искусственный спутник Земли. В 1970 г. появились предшественницы ГЛОНАСС – системы «Циклон-Б» и «Цикада». Годом начала работы над ГЛОНАСС стал 1976 г. В 1982 г. был запущен первый спутник, а в 1993 г. введена в строй первая очередь системы.

В настоящее время основной проблемой реализации ГЛОНАСС является задача развертывания орбитальной группировки. На сегодняшний день только 13 из 24 навигационных космических аппаратов (НКА) действуют и 3 находятся на стадии технического обслуживания [1].

Развитие ГЛОНАСС является одной из наиболее приоритетных программ Роскосмоса. Система глобальной навигационной спутниковой связи, помимо стратегических и оборонных целей, важна для России как опорный пункт для вывода отечественной микроэлектронной промышленности на новый уровень.

Для обеспечения национальной и информационной безопасности Президентом Российской Федерации В. В. Путиным 11 апреля 2002 г. были утверждены «Основы политики Российской Федерации в области развития электронной компонентной базы на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу».

В частности, в Российской Федерации нет программ развития навигационной аппаратуры пользователей (НАП) и в настоящее время всего несколько предприятий могут предложить ГЛОНАСС-модули для разработчиков НАП. Однако при этом миллиарды рублей тратятся на космический сектор ГЛОНАСС-программы, а НАП уделяется значительно меньше внимания.

Существует серьезные проблемы, связанные с проектированием ГЛОНАСС-чипов. Сегодня в нашей стране они практически не производятся, так как российские центры проектирования микроэлектронной аппаратуры не в состоянии конкурировать с зарубежными разработчиками, которые работают с проектными нормами 0,09...0,065 мкм и менее. Такая технология необходима для создания энергосберегающего, высокопроизводительного ГЛОНАСС-приемника типа «система в корпусе» (*System in Package*, SiP), хотя ведущие мировые электронные компании уже давно работают с GPS-чипами на основе сверхбольших интегральных схем (СБИС) типа «система на кристалле» (*System on Chip*, SoC), в разработку которых вложены миллиарды долларов (табл. 1) [2].

Неуклонно расширяющаяся сфера применения спутниковой навигации диктует свои требования к аппаратуре пользовательских терминалов, среди которых особое значение начинают приобретать требования к снижению энергопотребления, поскольку речь идет о мобильных системах. В таком аспекте система в корпусе, состоящая из нескольких СБИС, теряет актуальность, а главная роль начинает отводиться однокристалльной SoC.

Российские ГЛОНАСС-приемники изготавливаются в виде микросборок типа «система в корпусе» на основе зарубежных чипов и практически не предназначены для автономных мобильных устройств (табл. 2) [2]. Более того, такие модули не могут быть допущены к применению в военных и стратегических целях.

Основные модули ГЛОНАСС-приемников выполняются в виде заказных СБИС с дополнительными интерфейсными схемами. Таким образом, здесь на первый план выходят проблемы, связанные с технологией производства систем на кристалле.

В общем случае источником сигнала для такого приемника является антенна, посредством которой электрический сигнал поступает на RF-радиоприемник с функцией оцифровки сигнала и далее на навигационный процессор, реализованный на заказных СБИС, который выполняет функции слежения за сигналом и его обработку (рис. 1). В этот модуль также входит связной модем асинхронного обмена данными с пользовательской системой,

*Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

куда передаются определяемые координаты, рассчитываемые скорости и углы. Пользовательские приложения формируются на основании полученных данных в зависимости от назначения приемника или системы в целом.

Неуклонное повышение требований к точности и качеству навигационных данных выдвинуло новые требования к составу процессорного ядра.

На сегодняшний день ведущие аналитики в данной области пришли к единому мнению, что совместное использование нескольких навигационных систем является одним из наиболее обоснованных методов повышения точности навигации [3]. Это означает, что процессорное ядро должно содержать, как минимум, два канала параллельной обработки информации, например GPS и ГЛОНАСС. Действительно, такой подход хорошо зарекомендовал себя на пользовательском рынке навигационных услуг. Более того, анонсированы чипы с поддержкой трех спутниковых навигационных систем: американской GPS, европейской Galileo и российской ГЛОНАСС [4]. Ведутся работы по разработке четырехканальных систем [5]. Но и в данном направлении существуют большие проблемы.

Дело в том, что система ГЛОНАСС изначально проектировалась и создавалась без учета обеспечения ее совместимости с GPS и другими системами. Изменения в политике использования глобальных спутниковых систем, а также объективная необходимость использования GPS-сигналов при отсутствии собственной полноценной орбитальной группировки привели к необходимости внесения определенных корректировок в ряд изначально заложенных идей [1].

Одна из таких проблем связана с синхронизацией принципиально различных шкал времени, используемых в системах GPS и ГЛОНАСС. В частности, добавление целой секунды к шкале времени, периодически производящееся в системе ГЛОНАСС, приводит к значительному усложнению логики работы пользовательских приемников. И эта проблема будет только усложняться при подключении дополнительных систем. Следовательно, расширение каналов приемника до четырех (GPS, ГЛОНАСС, Galileo и Бэйдоу) будет связано с четырехкратным и даже более увеличением вычислительных мощностей процессорного блока.

Разумеется, что интегрированные процессоры обработки данных потребуют новых подходов к проектированию, в первую очередь направленных на сокращение сроков выполнения проекта.

Один из таких подходов основан на использовании высокоуровневого проектирования микропроцессорных систем со сложной многопроцессорной структурой. Здесь необходимо применение уже готовых (отработанных) блоков описания аппаратуры, например модулей интеллектуальной собственности IP (*Intelligent Property Core*), причем не только IP-процессорных блоков, но и модулей цифровой логики. На сегодняшний день на рынке присутствуют программные IP-блоки (*Soft Blocks*) – блоки, специфицированные на языке описания аппаратуры, схемотехнические блоки (*Firm Blocks*) – блоки, специфицированные на схемотехническом уровне без привязки к конкретной топологической реализации, и физические (топологические) блоки (*Hards Blocs*) – блоки,

Таблица 1

Характеристики GPS-чипов разных производителей

Интегральная микросхема (ИМС)	SiRFstarIII GSC3LT	Fujitsu MB15H156 + MB87 Q2040	uNav uN1008 + uN2110	STmicro STA2056	Atmel ATR0635
Конфигурация	SiP	2 ИМС	2 ИМС	SoC	SiP
Техпроцесс	RFCMOS + CMOS	RFBiCMOS + CMOS	RFCMOS + CMOS	RFCMOS	RFBiCMOS + CMOS
Корпус	TFBGA-153 7 × 7	BCC-32 5 × 5 + BCC-48 7 × 7	QFN-28 4 × 4 + BGA-49 8,5 × 8,5	QFPN-68 10 × 10	BGA-96 7 × 10
Энергопотребление, мВт	50	110	49	120	62
Чувствительность, дБм	-159	-157	-	-147	-158
Холодный старт, с	35	40	40	90	34
DSP-ядро	ARM7TDM1	ARM7TDM1	VS-DSP	ARM7TDM1	ARM7TDM1

Таблица 2

Краткие характеристики выпускаемых в России ГЛОНАСС/GPS-приемников

Наименование, производитель	Характеристики	Приблизительная цена, долларов
Приемо-вычислительный модуль 1К-181, ОАО «РИПВ»	Габариты – 50 × 50,5 × 15 мм, число каналов – 24, потребляемая мощность – не более 0,6 Вт	300
Модуль СНС СН-4706, ЗАО «КБ НАВИС»	Габариты – 35 × 35 × 6 мм, число каналов – 24, потребляемая мощность – не более 0,9 Вт	250
Навигационный приемник МНП-М3, Ижевский радиозавод	Габариты – 31 × 40 × 4 мм, число каналов – 16, потребляемая мощность – не более 0,9 Вт	300

специфицированные на физическом уровне реализации СБИС.

В настоящее время российскими производителями закупаются IP-модули, являющиеся интеллектуальной собственностью зарубежных корпораций. Затем на базе импортных СБИС с программируемой логикой проектируется GPS/ГЛОНАСС-чип SoC и уже на его основе строится SiP для нужд ГЛОНАСС. Но спроектированные устройства (их архитектурные и схемотехнические решения, микроэлектроника) не являются отечественными разработками, что в свою очередь создает большие трудности, связанные с использованием таких модулей в крупномасштабных и стратегических целях.

Разрешение этой проблемы необходимо начинать с накопления опыта проектирования чипов технологических размеров 90 и 60 нм и создания школы высококвалифицированных специалистов в области проектирования и программирования чипов, что позволит осуществить наработку собственных баз IP-модулей.

Продолжая обсуждение проблемы точности, определим основные факторы, влияющие на погрешность измерений:

- погрешность хода часов НАП, т. е. расхождение между орбитальными (спутниковыми) и наземными (пользовательскими) часами. Данная погрешность по предварительным оценкам дает отклонение от точки определения до 3 м [1]. Для ее устранения необходимо применять высокоточные источники тактирования для часов НАП. А поскольку неточность применяемых кварцевых резонаторов пользовательской аппаратуры имеет значение порядка 10^{-12} , что дает за одни сутки разброс, сопоставимый со временем прохождения сигнала от спутника до приемника ~ 70 мс, то необходима периодическая корректировка хода часов, т. е. усложнение функций процессорного ядра;

- неточность координат спутников, также дающая ошибку до 3 м [1]. Для ее устранения требуется увеличение разрешающей способности вычислителя координат, т. е. увеличение разрядной сетки вычислителя процессорного ядра и, возможно, введение единовременной поправки;

- шумы приемного тракта аппаратуры, дающие самую большую ошибку на аппаратном уровне – до 10 м [1]. Эти шумы устраняются за счет применения малошумящих усилителей приемного тракта и усреднения сигнала по большому числу выборок при оцифровке, что также приводит к увеличению производительности вычислительного ядра;

- возможность искусственного внесения дополнительных помех для гражданского использования, т. е. селективный доступ. Такие помехи могут давать ошибку до 30 м [1], например в системе GPS до недавнего времени, когда данный запрет был снят. Но возврат этой функции также прост, как и отказ от нее. Устранить эти помехи можно путем отказа от селективного доступа и увеличения числа систем, используемых в приемнике. Если одна сторона вводит селективный доступ, то при трех-четырех и более системном процессоре точность определения координат окажется достаточно высокой;

- искажение (наложение) отраженных и принимаемых на антенну сигналов, т. е. многолучевость, которая может вносить ошибку в определении координат до 50 м [1]. Это искажение устраняется за счет усреднения помех, вносимых дополнительными отраженными волнами, при увеличении времени замера с небольшим смещением относительно начальной точки;

- тропосферные и ионосферные погрешности, дающие искажения до 30 м [1]. Устранение этих погрешностей должно производиться путем построения моделей тропосферных и ионосферных помех, на основании которых смоделированный сигнал должен исключаться из приемного.

Не менее эффективной является и методика дифференциального режима измерения координат, в которой используются два приемника сигнала: основной – базовая станция – и вторичный – рабочая станция. Координаты определяются по вектору базовой линии (рис. 2). Если оба приемника находятся в относительно небольшом удалении, то помехи ионосферы и наложение отраженных волн на них будут практически одинаковыми, а следовательно разница между ними будет стремиться к нулю. Таким образом, имеется возможность сокращения уровня помех при определении координат и значительного повышения точности измерений.

Рассмотрев основные проблемы, связанные с определением точности НАП, можно с уверенностью утверждать, что все они имеют достаточно обоснованные пути их решения. Однако для успешного воплощения этих реше-

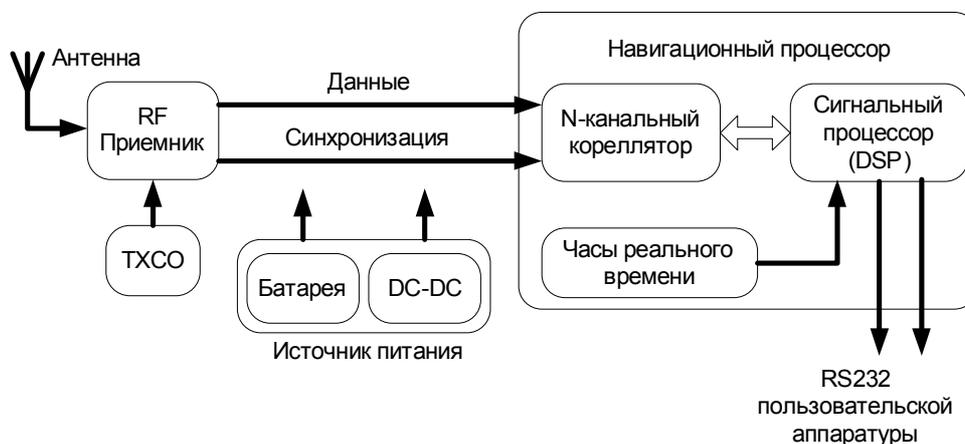


Рис. 1. Приемник ГЛОНАСС

ний требуется значительное расширение вычислительных возможностей приемной аппаратуры. И здесь потребуются переход на качественно новый уровень производства ГЛОНАСС-чипов. Эти чипы должны представлять собой мультипроцессорную систему на кристалле, способную на высокой скорости производить параллельные вычисления и обработку сигнала от 4...5 навигационных систем, имеющих в своем составе по 24 спутника, а их энергопотребление не должно превышать 40 мВт на максимальной

тактовой частоте. Из всего сказанного выше следует, что технология производства ГЛОНАСС-чипов должна быть основана на не менее чем 40-нанометровой архитектуре, что в свою очередь позволит создавать миниатюрные устройства, способные функционировать не только в приемниках массового пользования, но и в живом организме (в виде имплантов) (рис. 3).

Наряду с разрешением отмеченных выше проблем также требуется добавление новой частоты в сигналах GPS и

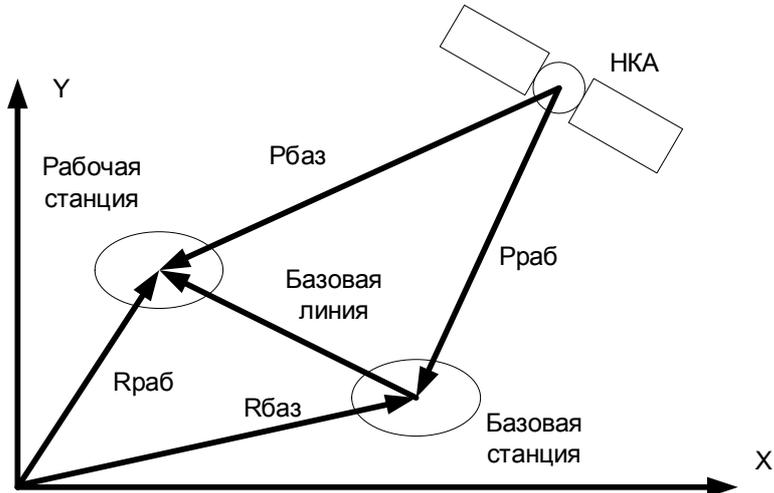


Рис. 2. Дифференциальный режим измерения координат

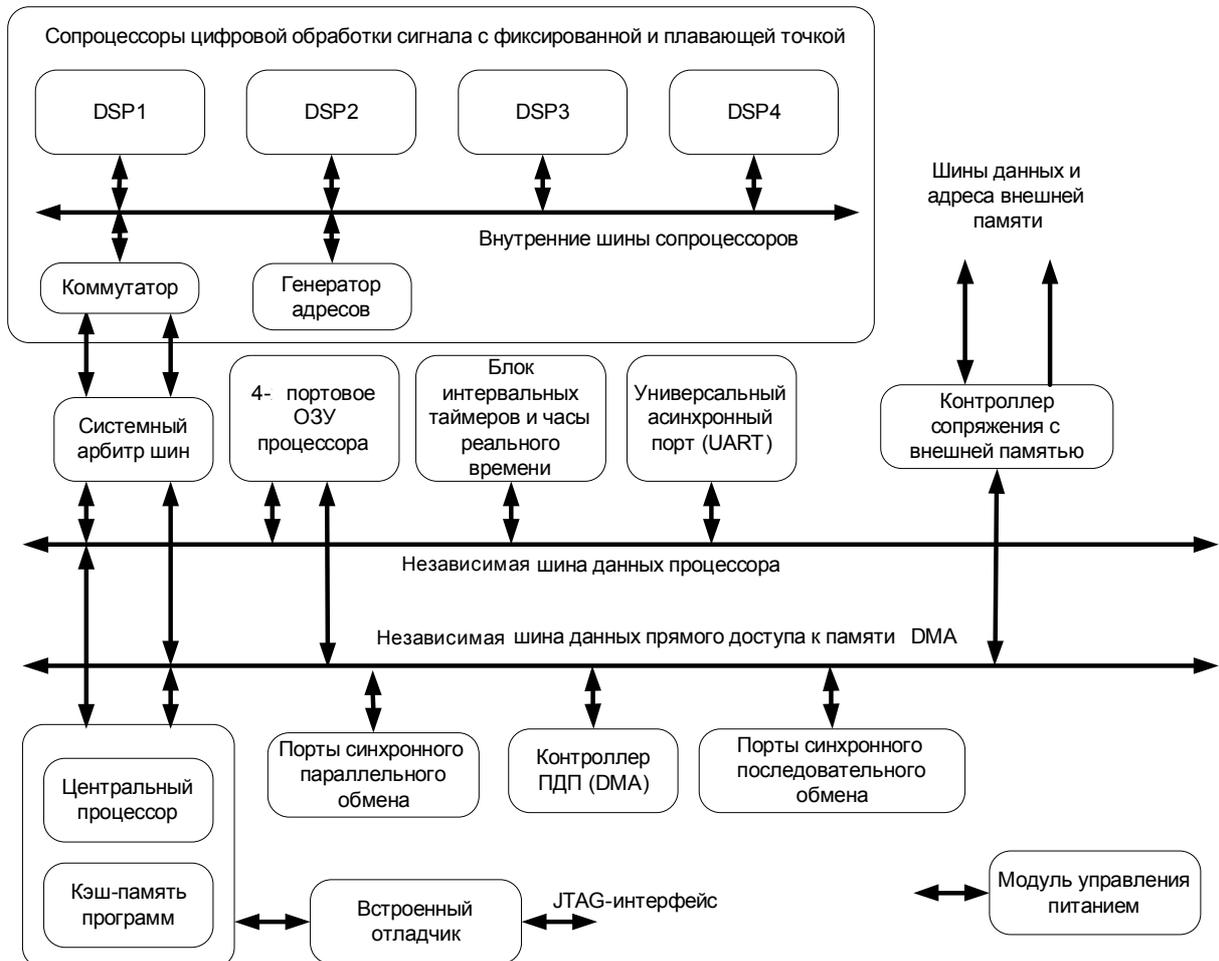


Рис. 3. Интегрированный навигационный процессор параллельной обработки сигнала

введение навигационных сигналов на геостационарных спутниках, запуск и подключение отечественной аппаратуры к европейской спутниковой навигационной системе Galileo, разработка и внедрение наземных устройств и приемников, комбинированных с инерционными и оптическими навигационными приборами, создание приемников, работающих внутри помещений и т. д.

Библиографический список

1. Барабанов, И. Н. Спутниковые навигационные системы GPS и ГЛОНАСС / И. Н. Барабанов // Межпредм. семинар Моск. инж.-физ. ин-та / Моск. инж.-физ. ин-т М., 2008.
2. Немудов, В. Микросхемы для телекоммуникационной аппаратуры. Нужны ли отечественные разработки? /

В. Немудов, И. Корнеев // Электроника, наука, технология, бизнес. 2008. № 6. С. 26–31.

3. Свириденко, В. ГЛОНАСС и аппаратура потребителей: сегодня и завтра / В. Свириденко // Chip News. 2008. № 4 (127). С. 27–30.

4. Специализированная СБИС типа «система на кристалле» навигационного приемника ГЛОНАСС/GPS / И. Корнеев, В. Немудов, О. Лагугин, В. Польщиков // Электрон. компоненты. 2007. № 4. С. 81–85.

5. Пакман, Д. Н. Проблемы обработки телеметрической информации в контуре автоматизированной системы управления космическими аппаратами / Д. Н. Пакман, М. В. Некрасов, А. Н. Антамошкин // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 1 (22). Ч. 1. С. 4–9.

V. V. Shaidurov, E. A. Veisov, O. V. Nepomnyashy

PROBLEMS AND DECISIONS OF DESIGNING OF MICROPROCESSOR MODULES OF NAVIGATING EQUIPMENT OF USERS GLONASS

The short history of creation and current state of problems in the field of satellite navigation is considered, systems GPS and GLONASS in particular are considered. The basic problems of development GLONASS are allocated and decisions of the marked problems are offered. The problem of designing of navigating receivers is considered. The basic ways of the decision are allocated at designing of the big integrated schemes and microprocessor modules of management by the receiver of satellite navigation. The structure and structure of the integrated microprocessor for management of the navigating receiver capable to conduct reception of signals in four systems is offered: GPS, Galoleo, Bejdou and GLONASS. The basic ways of development GLONASS in the light of globalisation of satellite navigation on a global scale are planned.

Keywords: space, navigation, system on a crystal, the microprocessor, the companion, GLONASS, GPS.

© Шайдуров В. В., Вейсов Е. А., Непомнящий О. В., 2009

УДК 539.374

О. В. Гомонова, С. И. Сенашов

НОВЫЕ ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ДВУМЕРНОЕ ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАНДТЛЯ*

Найдены новые поля скоростей для известного решения Прандтля, описывающего сжатие тонкого пластического слоя материала между двумя параллельными жесткими и шероховатыми плитами. Приведена методика построения других полей скоростей.

Ключевые слова: идеальная пластичность, поле скоростей, решение Прандтля.

Уравнения плоской задачи идеальной пластичности в стационарном случае имеют вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma}{\partial x} - 2k \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \cos 2\theta + \frac{\partial \theta}{\partial y} \sin 2\theta \right) &= 0, \\ \frac{\partial \sigma}{\partial y} - 2k \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \sin 2\theta - \frac{\partial \theta}{\partial y} \cos 2\theta \right) &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \operatorname{tg} 2\theta + \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) &= 0, \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где σ – гидростатическое давление; θ – угол между осью Ox и первым главным направлением тензора напряже-

*Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (№ П1121).

ний; k – постоянная пластичности; v_x, v_y – компоненты вектора скорости деформаций.

Одним из практически важных и часто используемых в различных расчетах является решение Прандтля, которое описывает, в частности, сжатие тонкого пластического слоя материала жесткими плитами. Это решение имеет вид

$$\begin{aligned}\sigma_x &= -p - k(x - 2\sqrt{1-y^2}), \\ \sigma_y &= -p - kx, \quad \tau = ky,\end{aligned}\quad (3)$$

где p – произвольная постоянная.

Известно, что для полного описания пластического состояния тела необходимо знать поле скоростей.

Подставим уравнения (2) в систему (1):

$$\begin{aligned}y\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial v_y}{\partial y}\right) &= \sqrt{1-y^2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}\right), \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} &= 0.\end{aligned}\quad (4)$$

Из системы (4) следует, что, в силу ее линейности, она имеет бесконечное число решений, которые могут быть полезны для анализа напряженно-деформированного состояния пластической среды.

В настоящее время известно два класса решений этой системы: решение Надаи [1] и решение Ивлева–Сенашова [2], которые имеют вид

$$\begin{aligned}v_x &= -\alpha xy + \beta x - \alpha \arcsin y - \\ &- \alpha y \sqrt{1-y^2} - 2\beta \sqrt{1-y^2} + C_1, \\ v_y &= \alpha \left(\frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2}\right) - \beta y + C_2,\end{aligned}$$

где α, β, C_1, C_2 – произвольные постоянные (при $\alpha = 0$ получаем решение Надаи).

Приведем другие решения системы (4). Для этого заметим, что в переменных ξ, η , где $\sigma = k(\xi + \eta)$, $2\theta = \xi - \eta$, уравнения (2) запишутся в виде

$$\begin{aligned}\frac{\partial v_x}{\partial \xi} - \operatorname{tg} \theta \frac{\partial v_y}{\partial \xi} &= 0, \\ \frac{\partial v_y}{\partial \eta} + \operatorname{ctg} \theta \frac{\partial v_x}{\partial \eta} &= 0.\end{aligned}\quad (5)$$

Если ввести в (5) новые переменные по формулам

$$\begin{aligned}v_x &= u \cos \theta - v \sin \theta, \\ v_y &= u \sin \theta + v \cos \theta,\end{aligned}\quad (6)$$

то получим систему

$$\begin{aligned}\frac{\partial v}{\partial \xi} - \frac{1}{2}u &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} - \frac{1}{2}v &= 0.\end{aligned}\quad (7)$$

Далее поступаем по следующей методике: решаем систему (7), в ней вместо ξ и η подставляем выражения из решения Прандтля, совершаем замену (6) и находим поле скоростей, соответствующее решению (3).

Проделаем это на наиболее простом решении системы (7). Нетрудно видеть, что

$$v = u = \exp\left(\frac{1}{2}(\xi + \eta)\right)$$

есть решение системы уравнений (7). Подставим его в (6):

$$v_x = (\cos \theta - \sin \theta) \exp\left(\frac{1}{2}(\xi + \eta)\right),$$

$$v_y = (\cos \theta + \sin \theta) \exp\left(\frac{1}{2}(\xi + \eta)\right).$$

Из решения Прандтля (3) получим

$$\begin{aligned}\xi + \eta &= -\frac{p}{k} - x - \sin 2\theta, \\ \cos 2\theta &= y.\end{aligned}\quad (8)$$

Окончательно находим новое поле скоростей:

$$v_x = \exp\left(\frac{1}{2}\left(-\frac{p}{k} - x - \sin 2\theta\right)\right)(\cos \theta - \sin \theta),$$

$$v_y = \exp\left(\frac{1}{2}\left(-\frac{p}{k} - x - \sin 2\theta\right)\right)(\cos \theta + \sin \theta).$$

Аналогично определяются и другие поля скоростей.

Для уравнений (7) решения указаны в [3]. Далее будет построено пять классов новых решений уравнений (5) с учетом решений [3].

Первый класс:

$$u = \cos\left(\lambda \frac{\xi + \eta}{2}\right) \left[A \cos\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) + B \sin\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) \right],$$

где A, B, μ, λ – произвольные постоянные; $\mu^2 - \lambda^2 = 1$. Тогда

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial \eta} &= -\frac{\lambda}{2} \sin\left(\lambda \frac{\xi + \eta}{2}\right) \times \\ &\times \left[A \cos\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) + B \sin\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) \right] + \\ &+ \frac{\mu}{2} \cos\left(\lambda \frac{\xi + \eta}{2}\right) \left[A \sin\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) - B \cos\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) \right].\end{aligned}$$

Из уравнений (7) имеем

$$\begin{aligned}v &= -\lambda \sin\left(\lambda \frac{\xi + \eta}{2}\right) \times \\ &\times \left[A \cos\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) + B \sin\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) \right] + \\ &+ \mu \cos\left(\lambda \frac{\xi + \eta}{2}\right) \left[A \sin\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) - B \cos\left(\mu \frac{\xi - \eta}{2}\right) \right].\end{aligned}$$

Подставим u, v в уравнения (6) и с учетом равенств

(8) и $\theta = \frac{\xi - \eta}{2}$ получим

$$\begin{aligned}v_x &= \cos\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k} - x - \sin 2\theta\right)\right) \left[A \cos(\mu\theta) - B \sin(\mu\theta) \right] \cos \theta - \\ &- \left(-\lambda \sin\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k} - x - \sin 2\theta\right)\right) \left[A \cos(\mu\theta) - B \sin(\mu\theta) \right] + \right. \\ &+ \mu \cos\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k} - x - \sin 2\theta\right)\right) \left[-A \sin(\mu\theta) - B \cos(\mu\theta) \right] \left. \right) \sin \theta, \\ v_y &= \cos\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k} - x - \sin 2\theta\right)\right) \left[A \cos(\mu\theta) - B \sin(\mu\theta) \right] \sin \theta + \\ &+ \left(-\lambda \sin\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k} - x - \sin 2\theta\right)\right) \left[A \cos(\mu\theta) - B \sin(\mu\theta) \right] + \right.\end{aligned}$$

$$+\mu \cos\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A \sin(\mu\theta)-B \cos(\mu\theta)\right] \cos \theta.$$

Второй класс:

$$u = \sin\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \cos\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)+B \sin\left(\frac{\xi-\eta}{2}\right)\right].$$

где A, B, μ, λ – произвольные постоянные; $\mu^2 - \lambda^2 = 1$. Тогда

$$v = -\lambda \cos\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \cos\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)+B \sin\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)\right] + \\ + \mu \sin\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \sin\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)-B \cos\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)\right],$$

$$v_x = \sin\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \cos(\mu\theta)-B \sin(\mu\theta)\right] \cos \theta - \\ - \left[-\lambda \cos\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \cos(\mu\theta)-B \sin(\mu\theta)\right] + \right. \\ \left. + \mu \sin\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A \sin(\mu\theta)-B \cos(\mu\theta)\right]\right] \sin \theta,$$

$$v_y = \sin\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \cos(\mu\theta)-B \sin(\mu\theta)\right] \sin \theta + \\ + \left(\lambda \cos\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \cos(\mu\theta)-B \sin(\mu\theta)\right] + \right. \\ \left. + \mu \sin\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A \sin(\mu\theta)-B \cos(\mu\theta)\right]\right) \cos \theta.$$

Третий класс:

$$u = \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \cos\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)+B \sin\left(\frac{\xi-\eta}{2}\right)\right],$$

где A, B, μ, λ – произвольные постоянные; $\mu^2 + \lambda^2 = 1$. Тогда

$$v = \lambda \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \cos\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)+B \sin\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)\right] + \\ + \mu \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \sin\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)-B \cos\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)\right],$$

$$v_x = \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \cos(\mu\theta)-B \sin(\mu\theta)\right] \cos \theta - \\ - \left[-\lambda \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \cos(\mu\theta)-B \sin(\mu\theta)\right] + \right. \\ \left. + \mu \exp\left(\lambda \left(-\frac{p}{2k}-\frac{x}{2}+\frac{\sqrt{1-y^2}}{2}\right)\right)\left[-A \sin(\mu\theta)-B \cos(\mu\theta)\right]\right] \sin \theta,$$

$$v_y = \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \cos(\mu\theta)-B \sin(\mu\theta)\right] \sin \theta + \\ + \left(\lambda \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \cos(\mu\theta)-B \sin(\mu\theta)\right] + \right. \\ \left. + \mu \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A \sin(\mu\theta)-B \cos(\mu\theta)\right]\right) \cos \theta.$$

Четвертый класс:

$$u = \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \exp\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)+B \exp\left(\frac{\xi-\eta}{2}\right)\right],$$

где A, B, μ, λ – произвольные постоянные; $\lambda^2 - \mu^2 = 1$. Тогда

$$v = \lambda \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \exp\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)+B \exp\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)\right] + \\ + \mu \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[-A \exp\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)+B \exp\left(\mu \frac{\xi-\eta}{2}\right)\right],$$

$$v_x = \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \exp(-\mu\theta)+B \exp(-\mu\theta)\right] \cos \theta - \\ - \left[-\lambda \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \exp(-\mu\theta)+B \exp(-\mu\theta)\right] + \right. \\ \left. + \mu \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A \exp(-\mu\theta)+B \exp(-\mu\theta)\right]\right] \sin \theta,$$

$$v_y = \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \exp(-\mu\theta)+B \exp(-\mu\theta)\right] \sin \theta + \\ + \left(\lambda \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[A \exp(-\mu\theta)+B \exp(-\mu\theta)\right] + \right. \\ \left. + \mu \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A \exp(-\mu\theta)+B \exp(-\mu\theta)\right]\right) \cos \theta.$$

Пятый класс:

$$u = \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \frac{\xi-\eta}{2}+B\right],$$

где A, B, λ – произвольные постоянные; $\lambda^2 = 1$. Тогда

$$v = \lambda \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right)\left[A \frac{\xi-\eta}{2}+B\right]-A \exp\left(\lambda \frac{\xi+\eta}{2}\right),$$

$$v_x = \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A\theta+B\right] \cos \theta - \\ - \left(\lambda \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A\theta+B\right] - \right. \\ \left. - A \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\right) \sin \theta,$$

$$v_y = \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A\theta+B\right] \sin \theta + \\ + \left(\lambda \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\left[-A\theta+B\right] - \right. \\ \left. - A \exp\left(\frac{\lambda}{2}\left(-\frac{p}{k}-x-\sin 2\theta\right)\right)\right) \cos \theta.$$

Библиографический список

1. Соколовский, В. В. Теория пластичности / В. В. Соколовский. М. : Высш. шк., 1969.
2. Предельное состояние деформированных тел и горных пород / Д. Д. Ивлев, Л. А. Максимова, Р. И. Непершин и др. М. : Физматлит, 2008.
3. Полянин, А. Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики / А. Д. Полянин. М. : Физматлит, 2001.

O. V. Gomonova, S. I. Senashov

NEW EXACT SOLUTIONS WHICH DESCRIBE 2-DIMENSIONAL VELOCITY FIELD FOR PRANDTL'S SOLUTION

For the well-known Prandtl's solution which describes a pressing of a thin layer of plasticity material between two parallel and rough plates new velocity fields are found. Method of construction of the other fields is considered.

Keywords: ideal plasticity, velocity field, Prandtl's solution.

© Гомонова О. В., Сенашов С. И., 2009

УДК 539.37

О. И. Кузоватова, В. М. Садовский

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ О ПРОДАВЛИВАНИИ СВЯЗНОЙ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ*

Исследован процесс локализации деформаций в образцах из разнопрочного материала типа грунта при продавливании через фильеру с прямолинейными, выпуклыми и вогнутыми боковыми поверхностями. Использована специальная математическая модель, обобщающая классическую теорию упругости на случай материала, по-разному сопротивляющегося растяжению и сжатию. Численное решение задачи построено с помощью итерационного процесса, на каждом шаге которого решаются уравнения теории упругости с начальными напряжениями на основе метода конечных элементов.

Ключевые слова: метод конечных элементов, метод начальных напряжений, локализация деформаций, разнопрочная среда.

Постановка задачи. Рассмотрим образец из разнопрочного материала типа грунта, занимающий плоскую область Ω с границей Γ , состоящей из трех непересекающихся частей Γ_u , Γ_p и Γ_{up} , на первой из которых задан вектор перемещений $u = (u_1, u_2)$, на второй – вектор распределенной внешней нагрузки $p = (p_1, p_2)$, а на третьей ставятся смешанные граничные условия: при отсутствии перемещений точек границы в направлении нормали зафиксированы касательные напряжения

$$u_n = u \cdot n = 0, \quad \tau \cdot \sigma \cdot n = p_{fr}, \quad x \in \Gamma_{up}, \quad (1)$$

где $n = (n_1, n_2)$, $\tau = (\tau_1, \tau_2)$ – векторы нормали и касательной к границе соответственно; p_{fr} – заданная функция, моделирующая трение.

Задача состоит в определении векторного поля перемещений u и тензорного поля напряжений σ , удовлетворяющих граничным условиям

$$u = 0 \text{ на } \Gamma_u, \quad u_n = 0 \text{ на } \Gamma_{up}$$

и уравнению равновесия в вариационной форме

$$\iint_{\Omega} \sigma : \varepsilon(\tilde{u}) d\Omega = \int_{\Gamma_p} p \cdot \tilde{u} d\gamma + \int_{\Gamma_{up}} p_{fr} \cdot \tilde{u}_\tau d\gamma \quad (2)$$

для любого векторного поля \tilde{u} , удовлетворяющего однородным граничным условиям в перемещениях на Γ_u и Γ_{up} . Здесь $2\varepsilon(u) = \nabla u + (\nabla u)^*$ – тензор деформаций, соответствующий векторному полю u (звездочка означает транспонирование). Кроме того, в области Ω должны

быть выполнены определяющие уравнения, с помощью которых по заданному тензору деформаций в каждой точке Ω можно однозначно определить тензор напряжений.

Смешанные граничные условия на участке Γ_{up} возникают, например, при моделировании процесса продавливания среды через фильеру с жесткими границами. В этом случае величина p_{fr} представляет собой напряжение трения, равное нулю, если поверхность фильеры абсолютно гладкая.

Для описания напряженно-деформированного состояния разнопрочного материала, имеющего различные пределы прочности при растяжении и сжатии, будем использовать модель сыпучей среды с пластическими связями [1]. Под действием сжимающих или растягивающих напряжений меньше коэффициента сцепления (предела прочности связей) такая среда не деформируется. Достижение предела прочности связей отвечает состоянию равновесия, в котором деформация может быть произвольной положительной величиной. Напряжения выше этого предела невозможны. Регуляризованные определяющие соотношения деформирования разнопрочной среды, учитывающие упругость частиц и связующего, приводятся к системе уравнений

$$\sigma = a : \varepsilon - \frac{1}{1+\lambda} a : \Pi(\varepsilon - a^{-1} : \sigma_0), \quad (3)$$

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 08-01-00148).

где σ – тензор напряжений; σ_0 – тензор сцепления; a – симметричный положительно определенный тензор коэффициентов упругости частиц; λ – параметр регуляризации; Π – оператор проекции на конус допустимых деформаций C по норме $|\varepsilon| = \sqrt{\varepsilon : a : \varepsilon}$.

В модели сыпучей среды с абсолютно твердыми частицами, определяющие соотношения которой получаются из системы (3) в пределе при $a \rightarrow \infty$, $\lambda \rightarrow 0$, потенциал напряжений равен $\sigma_0 : \varepsilon + \delta_c(\varepsilon)$, где $\delta_c(\varepsilon)$ – индикаторная функция конуса C , равная нулю на конусе и бесконечности вне этого конуса. Двойственный потенциал деформаций $\delta_k(\sigma - \sigma_0)$ выражается через индикаторную функцию сопряженного конуса K , который состоит из тензоров напряжений, образующих с тензорами из конуса C тупые углы в смысле скалярного произведения, задаваемого сверткой $\sigma : \varepsilon$ [2].

Вычислительный алгоритм. Основная идея вычислительного алгоритма состоит в замене определяющих уравнений (3) итерационной формулой

$$\sigma^n = a : \varepsilon^n - \frac{1}{1 + \lambda} a : \Pi(\varepsilon^{n-1} - a^{-1} : \sigma_0)$$

или

$$\varepsilon^n(u^n) = a : (\sigma^n + \Delta\sigma^{n-1}),$$

$$a : \Delta\sigma^{n-1} = \Pi_{c^{-1}}(c : (a^{-1} : \varepsilon^{n-1}(u^{n-1}) - \sigma_0)), \quad (4)$$

где $n = 1, 2, 3, K$.

На первом шаге поле начальных напряжений $\Delta\sigma^0$ считается тождественно равным нулю и решается упругая задача для ненапряженного материала с тензором модулей податливости a . На последующих шагах начальные напряжения вычисляются через поле деформаций, полученное по предыдущему решению. Итерации продолжаются до тех пор, пока норма разности двух приближенных решений на соседних шагах не станет меньше наперед заданной точности вычислений.

Задача на n -м шаге алгоритма сводится к минимизации интегрального функционала

$$I^n(u) = \int_{\Omega} \left(\frac{|\varepsilon(u)|_{a^{-1}}^2}{2} - \Delta\sigma^{n-1} : \varepsilon(u) \right) d\Omega -$$

$$- \int_{\Gamma_p} p \cdot u d\Gamma + \int_{\Gamma_{fp}} p_{fr} \cdot u_{\tau} d\gamma,$$

или к численному решению вариационного уравнения

$$\int_{\Omega} \left((\varepsilon(u^n) : a^{-1} - \Delta\sigma^{n-1}) : (\varepsilon(\tilde{u}) - \varepsilon(u^n)) \right) d\Omega =$$

$$= \int_{\Gamma_p} p \cdot (\tilde{u} - u^n) d\Gamma + \int_{\Gamma_{fp}} p_{fr} \cdot (\tilde{u}_{\tau} - u_{\tau}^n) d\gamma,$$

$$\tilde{u}, u^n \in U, \quad (5)$$

для которого применима стандартная техника метода конечных элементов [3; 4]. Как обычно, пространство перемещений U аппроксимируется конечномерным подпространством U_h (где h – характерный параметр дискретизации), натянутом на заданную систему базисных функций из пространства U . В результате получается конечномерная задача квадратичного программирования, которая приводит к большой системе линейных алгебраических уравнений. В описанных ниже конкретных расче-

тах в качестве базисных функций выбирались стандартные кусочно-линейные сплайны, определенные на нерегулярной треугольной сетке, а система линейных уравнений решалась методом сопряженных градиентов. Преимущество этого метода состоит в том, что он позволяет достаточно просто реализовать технологию программирования, при которой в памяти компьютера постоянно хранятся только ненулевые коэффициенты матрицы системы и соответствующие им индексы – номера строк и столбцов [5].

Точное решение задачи, минимизирующее функционал $I(u)$ на пространстве U , очевидно, удовлетворяет вариационному уравнению (5) с заменой напряжения $\Delta\sigma^{n-1}$ напряжением

$$\Delta\sigma^{\infty} = a^{-1} : \Pi_{c^{-1}}(c : (a^{-1} : \varepsilon(u) - \sigma_0)). \quad (6)$$

Подставив в качестве варьируемого элемента \tilde{u} точное решение u в уравнение (5) и приближенное решение u^n в аналогичное уравнение с $\Delta\sigma^{\infty}$, после суммирования результатов получим

$$\int_{\Omega} \left(|\varepsilon(u^n - u)|_{a^{-1}}^2 - (\Delta\sigma^{n-1} - \Delta\sigma^{\infty}) : \varepsilon(u^n - u) \right) d\Omega = 0.$$

В терминах скалярного произведения

$$(\tilde{\varepsilon}, \varepsilon) = \int_{\Omega} \tilde{\varepsilon} : a^{-1} : \varepsilon d\Omega$$

и соответствующей ему гильбертовой нормы $\|\varepsilon\|_0 = \sqrt{(\varepsilon, \varepsilon)}$ последнее уравнение можно представить в виде

$$\|\varepsilon(\tilde{u} - u)\|_0 = (a : (\Delta\sigma^{n-1} - \Delta\sigma^{\infty}), \varepsilon(u^n - u)),$$

откуда по неравенству Коши–Буняковского имеем

$$\|\varepsilon(u^n - u)\|_0 \leq \|a : (\Delta\sigma^{n-1} - \Delta\sigma^{\infty})\|_0. \quad (7)$$

Положим для простоты $a = \lambda b$, $c = (1 + \lambda)^{-1}$, где λ – малый безразмерный параметр.

В силу неравенства Корна, левая часть (7) определяет на пространстве U норму $\|u^n - u\|$, эквивалентную норме $H^1(\Omega)$. Правая часть оценивается с помощью формул (4) и (6) с учетом того, что оператор проекции – нестягивающее отображение:

$$(1 + \lambda) \|a : (\Delta\sigma^{n-1} - \Delta\sigma^{\infty})\|_0 =$$

$$= \|\Pi_{a^{-1}}(\varepsilon(u^{n-1}) - a : \sigma_0) - \Pi_{a^{-1}}(\varepsilon(u) - a : \sigma_0)\|_0 \leq$$

$$\leq \|\varepsilon(u^{n-1} - u)\|_0 = \|u^{n-1} - u\|_1.$$

Таким образом, имеет место оценка

$$\|u^n - u\|_1 \leq \frac{1}{1 + \lambda} \|u^{n-1} - u\|_1 \leq \frac{1}{(1 + \lambda)^n} \|u^0 - u\|_1,$$

гарантирующая сходимость последовательности итераций к точному решению со скоростью геометрической прогрессии со знаменателем $1/(1 + \lambda) < 1$.

Численный эксперимент. В качестве примера рассмотрим задачу о плоском деформированном состоянии однородного образца с прямыми границами, на верхней границе которого действует давление $P = (0, -p_0)$, ($p_0 > 0$), распределенное равномерно (рис. 1).

В этом случае поле для интенсивности сдвига

$$\gamma(\varepsilon) = \sqrt{\frac{2}{3}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + \frac{2}{3}\varepsilon_1^2 + \frac{2}{3}\varepsilon_2^2 + \gamma_{12}^2},$$

где $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \gamma_{12})$, может быть получено как на основе классической теории упругости (рис. 2, а), так и на основе модели разнородной среды с параметром внутреннего трения, соответствующего плотному грунту (рис. 2, б). Интенсивность увеличивается от белого цвета до черного по линейной зависимости. При этом следует отметить, что в разнородной среде в нижней части образца образуется коническая зона вывала (см. рис. 2, б).

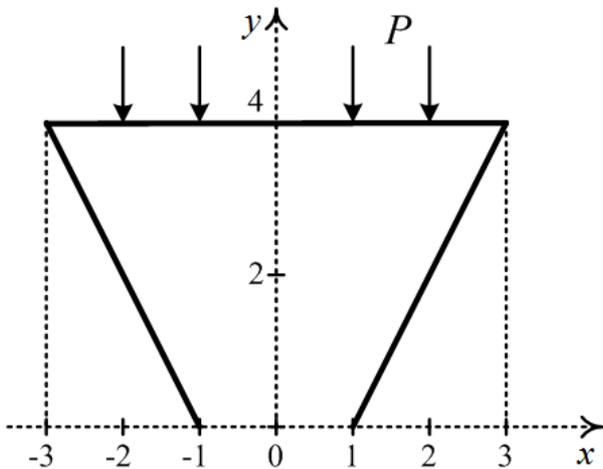
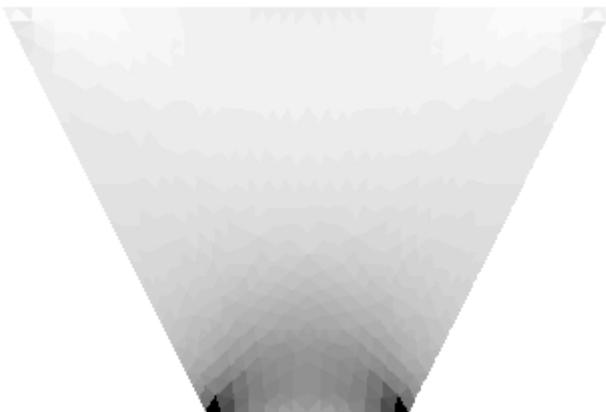


Рис. 1. Схема нагружения однородного образца с прямыми границами равномерно распределенной силой P



а



б

Рис. 2. Интенсивность деформации сдвига для задачи, приведенной на рис. 1 (обозначения см. в тексте)

Также была рассмотрена задача о продавливании образца через фильеру с прямоугольными боковыми границами с применением неравномерно распределенной силы, приложенной к верхней границе области, с равномерно уменьшающейся нагрузкой от центра к боковым границам (рис. 3). И в этой задаче поле интенсивности сдвига может быть получено с использованием как классической теории упругости (рис. 4, а), так и модели разнородной среды (рис. 4, б).

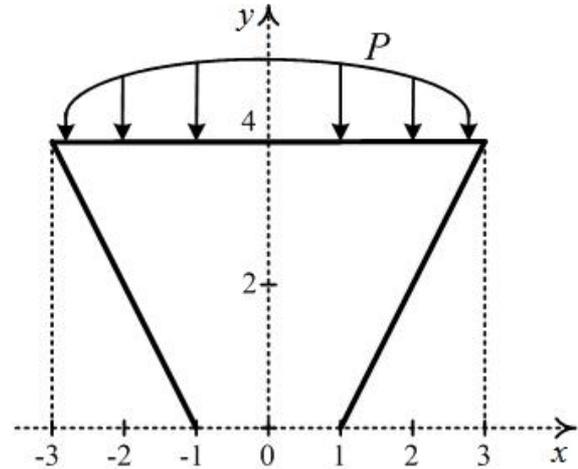
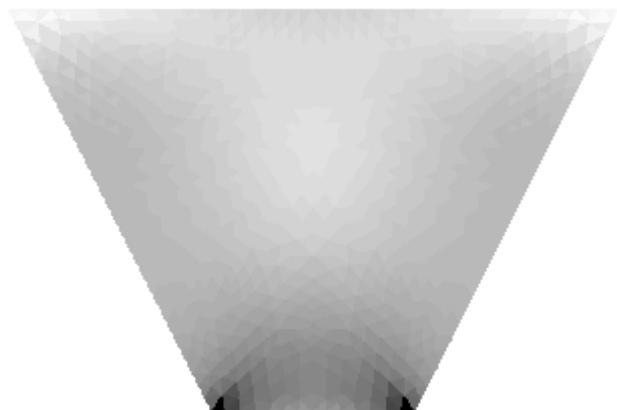


Рис. 3. Схема нагружения образца неравномерно распределенной силой P в задаче о продавливании образца через фильеру с прямоугольными границами



а



б

Рис. 4. Интенсивность деформации сдвига для задачи, представленной на рис. 3 (обозначения см. в тексте)

Сравнивая изображения на рис. 4, б и рис. 2, б, можно сделать вывод о том, что перераспределение внешнего давления с одним и тем же интегральным значением силы слабо влияет на изменение деформированного состояния в нижней части образца.

Задача о продавливании образца через фильеру с вогнутыми границами (рис. 5) имеет свои особенности по сравнению с задачей о продавливании образца через фильеру с прямоугольными боковыми границами.

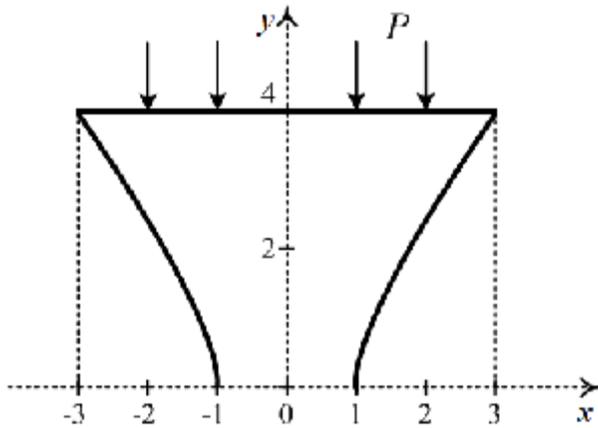
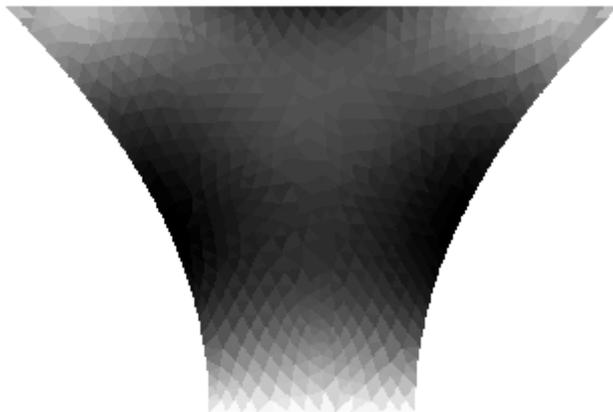
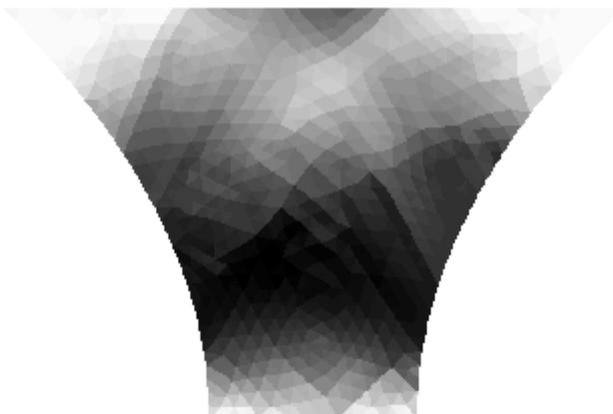


Рис. 5. Схема нагружения образца равномерно распределенной силой P в задаче о продавливании образца через фильеру с вогнутыми границами



a

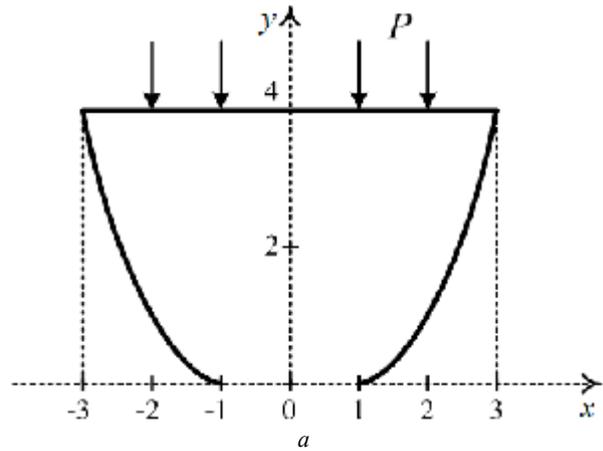


б

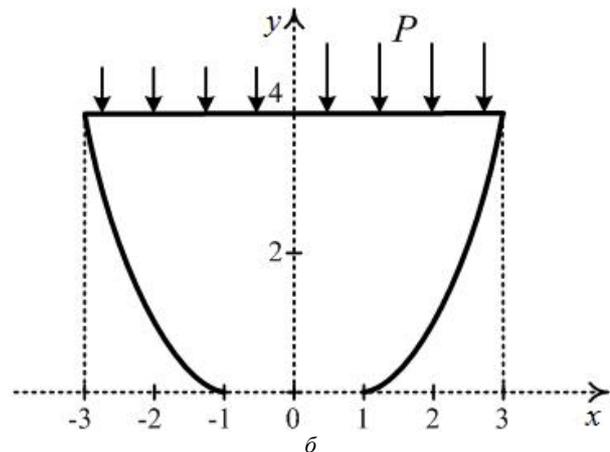
Рис. 6. Интенсивность деформации сдвига для задачи, приведенной на рис. 5, полученная на основе классической теории упругости (*a*) и на основе модели равнопрочной среды (*б*)

По сравнению с прямолинейными боковыми границами в случае вогнутых границ происходит перераспределение зон локализации деформаций как в упругой (рис. 6, *a*), так и в разнопрочной среде (рис. 6, *б*), а размер зоны вывала существенно увеличивается.

Далее была рассмотрена задача о продавливании образца через фильеру с выпуклыми границами (рис. 7).



a



б

Рис. 7. Схема нагружения образца в задачах о продавливании образца через фильеру с выпуклыми границами с равномерно (*a*) и неравномерно (*б*) распределенной силой P

Полученные в результате ее решения поля интенсивности (рис. 8, 9) показывают, что в результате перераспределения давления появляется дополнительная линия локализации деформации, которая соответствует асимметричным условиям задачи.

Таким образом, на основе метода конечных элементов предложен вычислительный алгоритм для решения задач локализации деформаций в разнопрочной среде. В качестве примера рассмотрено плоское деформированное состояние образца из разнопрочного материала типа грунта при продавливании через фильеру с прямолинейными, выпуклыми и вогнутыми боковыми поверхностями. Преимущества предложенного алгоритма в сравнении с классическим подходом теории упругости наиболее заметны при решении задач в асимметричной постановке.

Библиографический список

1. Мясников, В. П. Вариационные принципы теории предельного равновесия разнопрочных сред / В. П. Мясников, В. М. Садовский // Прикл. математика и механика. 2004. Т. 68, вып. 3. С. 488–499.

2. Садовская, О. В. Математическое моделирование в задачах механики сыпучих сред / О. В. Садовская, В. М. Садовский. М. : Физматлит, 2008.

3. Марчук, Г. И. Введение в проекционно-сеточные методы / Г. И. Марчук, В. И. Агошков. М. : Наука, 1981.

4. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. М. : Мир, 1979.

5. Кузоватова, О. И. Моделирование локализации деформации в разнопрочной среде / О. И. Кузоватова, В. М. Садовский // Журн. Сиб. федер. ун-та. Математика и физика. 2008. № 1 (3). С. 272–283.

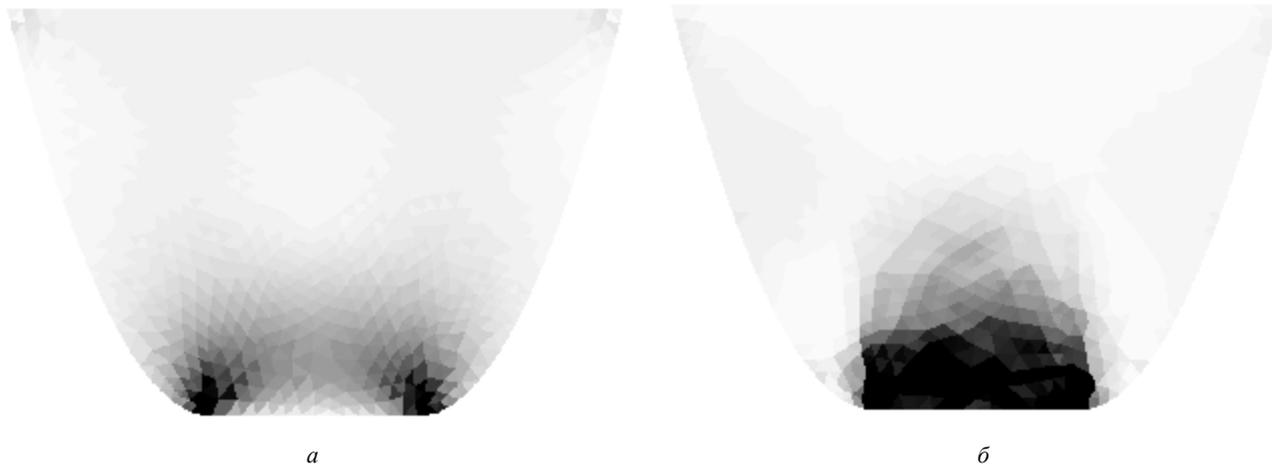


Рис. 8. Интенсивность деформации сдвига для задачи, представленной на рис. 7, а, полученная на основе классической теории упругости (а) и на основе модели равнопрочной среды (б)

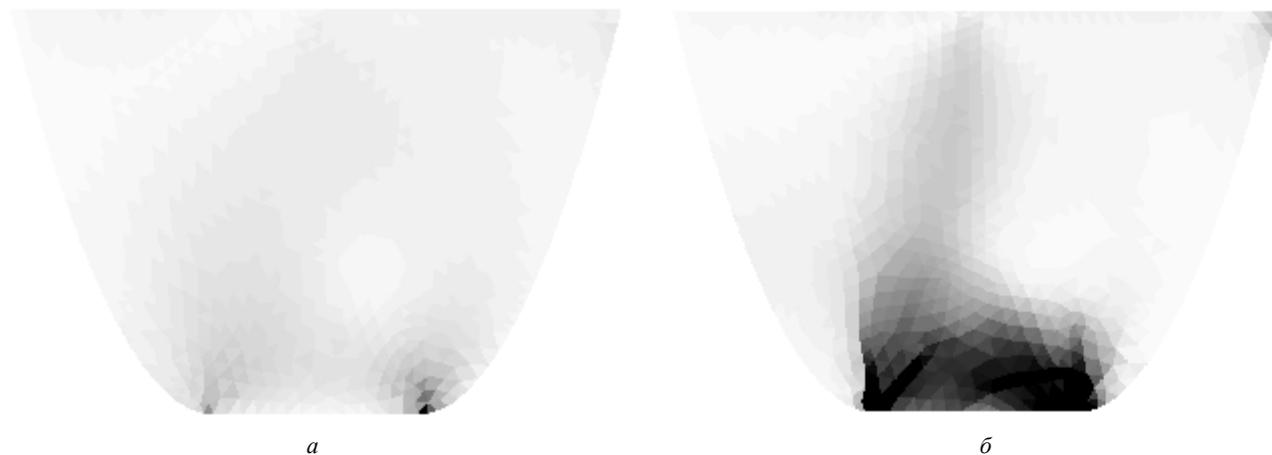


Рис. 9. Интенсивность деформации сдвига для задачи, представленной на рис. 7, б, полученная на основе классической теории упругости (а) и на основе модели равнопрочной среды (б)

O. I. Kuzovatova, V. M. Sadovskii

NUMERICAL ANALYSIS OF THE PROCESS OF PUNCHING SHEAR OF A SOIL

Special mathematical model, generalizing of classical model of the elasticity theory, is used for the analysis of directions of the deformations localization in samples from soil with different strengths. Numerical solution of the problems is carried out by means of iterative process, on each step of which the equations of the elasticity theory with initial stresses are solved on the basis of the finite-elements method.

Keywords: finite elements, initial stresses method, strains localization, material with different strengths.

© Кузоватова О. И., Садовский В. М., 2009

CAUCHY PROBLEM SOLUTION FOR A HYPERBOLIC SYSTEM OF THE HOMOGENEOUS 2-DIMENSIONAL QUASILINEAR EQUATIONS*

The method of solving the boundary-value problems for hyperbolic system of the homogeneous quasilinear equations of two independent variables with the help of conservation laws is presented. This method is applied to basic boundary problems for the system of two-dimensional plasticity equations under Sent-Venan–Mises yield criterion, as well for the system under Coulomb’s criterion.

Keywords: conservation laws, plane ideal plasticity.

Among hyperbolic systems of the nonlinear equations with partial derivatives the systems of the quasilinear equations of two independent variables, are most studied. These systems in particular describe the unsteady one-dimensional and the supersonic two-dimensional stationary flows of compressible gases and liquids, two-dimensional deformed plastic state of continuous medium, etc. A lot of them are reduced to a hyperbolic system of homogeneous quasilinear equations

$$\begin{aligned} u_x + A(u, v)u_y &= 0, \\ v_x + B(u, v)v_y &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

where $u = u(x, y)$, $v = v(x, y)$, an indices the lower meaning of the derivation with respect to the corresponding variables. This kind of system can be linearized by applying a so-called hodograph transformation if and only if the corresponding Jacobian is not equals to zero in some domain of solution existence.

From the other hand, the conservation laws [1] are one of the fundamental characteristics of any mechanical process. In the section 2 we have described a method of analytical solving of boundary-value problems for the system (1). This method is based on the use of conservations laws of systems under consideration. The main features of the presnted method consist of the possibility of problem linearization without considering the singularity of Jacobian transformation to obtain exact solutions for boundary-valued problems in explicit form.

In section 3 we consider the application of this method to some exact systems of the bi-dimensional plasticity mathematical theory.

Conservation Laws. Let us set Cauchy’s problem for the system (1): in something like an arc $a \leq \tau \leq b$ of a smooth curve L

$$L = \{(x, y) : x = x(\tau), y = y(\tau), \tau \in [a, b]\}$$

in the plane xOy it is required to find a solution of the system (1), that takes given values on L

$$u(x, y)|_L = u(x(\tau), y(\tau)) = u^0(\tau),$$

$$v(x, y)|_L = v(x(\tau), y(\tau)) = v^0(\tau).$$

The characteristics equations of the system (1) look like

$$\frac{dx}{dy} = A, \quad \frac{dx}{dy} = B, \tag{2}$$

with the relations in the characteristics $u = u^0$, $v = v^0$ equally.

A conservation law of the equations set (1) is searched in the form of the relation

$$C_x + D_y = 0, \tag{3}$$

where $C = C(u, v)$, $D = D(u, v)$ should vanish from all solutions of the system (1):

$$\begin{aligned} C_u u_x + C_v v_x + D_u u_y + D_v v_y &= \\ = -AC_u u_y - BC_v v_y + D_u u_y + D_v v_y &= 0, \end{aligned}$$

hence

$$D_u - AC_u = 0, \quad D_v - BC_v = 0. \tag{4}$$

Equation (3), if the conditions of Green’s theorem are satisfied, is equivalent to a relation

$$\int_{\Gamma} -Cdy + Ddx = 0,$$

where Γ is an arbitrary smooth closed contour.

In the plane xOy we have considered the closed path MNK , where $M(x_m(a), y_m(a))$, $N(x_n(b), y_n(b)) \in L$, $K(x_k, y_k)$ is the point of an intersection of characteristics $v = v^0$, $u = u^0$, drawing through the points M , N respectively.

Then,

$$\begin{aligned} \int_{MNK} -Cdy + Ddx &= \int_{MN} Ddx - Cdy + \\ + \int_{NK} Ddx - Cdy + \int_{KM} Ddx - Cdy &= 0. \end{aligned} \tag{5}$$

Taking into account expressions (2)

$$\begin{aligned} \int_{NK} Ddx - Cdy &= \int_{NK} (D - AC)dx = \\ = x(D - AC)|_{x_n}^{x_k} - \int_{NK} x\partial_v (D - AC)dv. \end{aligned}$$

Similarly,

$$\begin{aligned} \int_{KM} Ddx - Cdy &= \int_{KM} (D - BC)dx = \\ = x(D - BC)|_{x_k}^{x_m} - \int_{KM} x\partial_u (D - BC)du. \end{aligned}$$

Let us put the following conditions

$$\begin{aligned} \partial_v \left[(D - AC)|_{u=u^0(x(b), y(b))} \right] &= \\ = 0, \partial_u \left[(D - BC)|_{v=v^0(x(a), y(a))} \right] &= 0. \end{aligned} \tag{6}$$

*Работа выполнена в рамках Федаральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (№ 1121) и «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.1 (3023).

Let us denote

$$\phi(u, v) = D - AC, \quad \psi(u, v) = D - BC.$$

Then

$$D = (A\psi - B\phi)/(A - B), \quad C = (\psi - \phi)/(A - B),$$

where $A \neq B$, because the considered system (1) is a hyperbolic one and has two different characteristics.

In the new variables, the system (4) has the form

$$\begin{aligned} \phi_u + K_1(\psi - \phi) &= 0, \\ \psi_v + K_2(\psi - \phi) &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

where $K_1 = A_u/(A - B)$; $K_2 = B_v/(A - B)$.

Conditions (6) we shall take as follows

$$\phi|_{u=u^0} = \text{Const}_1 = 1, \quad \psi|_{v=v^0} = \text{Const}_2 = 0. \quad (8)$$

Coming back to (5) and taking into account (8), we shall obtain

$$\begin{aligned} \int_{MN} Ddx - Cdy &= -(x(D - AC)|_{x_n}^{x_k} + x(D - BC)|_{x_k}^{x_m}) = \\ &= -(x_k \phi|_{u=u^0, v=v^0} - x_n \phi|_{u=u^0} + x_m \psi|_{v=v^0} - x_k \psi|_{u=u^0, v=v^0}) = \\ &= x_n - x_k. \end{aligned} \quad (9)$$

If we find a solution of the linear system (7), that satisfied the boundary conditions (8), then we shall define the coordinate x_k from the equation (9).

On the other hand, for y -coordinate

$$\begin{aligned} \int_{NK} Ddx - Cdy &= \int_{NK} \left(\frac{D}{A} - C \right) dy = \\ &= y \frac{\phi}{A} \Big|_{y_n}^{y_k} - \int_{NK} y \partial_v \left(\frac{\phi}{A} \right) dv. \end{aligned}$$

Similarly,

$$\begin{aligned} \int_{KM} Ddx - Cdy &= \int_{KM} \left(\frac{D}{B} - C \right) dy = \\ &= y \frac{\psi}{B} \Big|_{y_k}^{y_m} - \int_{KM} y \partial_u \left(\frac{\psi}{B} \right) du. \end{aligned}$$

Let's assume

$$\begin{aligned} \partial_v \left[\frac{\phi}{A} \Big|_{u=u^0(x(b), y(b))} \right] &= 0, \\ \partial_u \left[\frac{\psi}{B} \Big|_{v=v^0(x(a), y(a))} \right] &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

The conditions (10) we can note are the following

$$\phi|_{u=u^0} = A(u^0, v), \quad \psi|_{v=v^0} = 0. \quad (11)$$

From (5) taking into account (10) we have

$$\begin{aligned} \int_{MN} Ddx - Cdy &= -y_k \frac{\phi}{A} \Big|_{u=u^0, v=v^0} + y_n \frac{\phi}{A} \Big|_{u=u^0} - \\ &- y_m \frac{\psi}{B} \Big|_{v=v^0} + y_k \frac{\psi}{B} \Big|_{u=u^0, v=v^0} = y_n - y_k. \end{aligned} \quad (12)$$

The solution of the problem (7), (11) makes possible to find the coordinate y_k from the equation (12). Thus, we shall define the coordinates of the point K , where the values of the functions u, v can be restored.

Let us notice, that the same steps can be applied for the Riemann problem [2].

Examples of applying the method. In this work [3] we have found all the conservations laws of the bi-dimensional plasticity system under the Sent-Venan–Mises yield criterion:

$$\begin{aligned} \sigma_x - 2k(\theta_x \cos 2\theta + \theta_y \sin 2\theta) &= 0, \\ \sigma_y - 2k(\theta_x \sin 2\theta - \theta_y \cos 2\theta) &= 0, \end{aligned} \quad (13)$$

where σ is the hydrostatic pressure; θ is the angle between the first main direction of a stress tensor and the ox -axis; k is a constant of plasticity. Here we have described the special class of conservation laws that are used for solution for Cauchy problem system (13).

The system (13) in the form (1) looks like this:

$$\xi_x + \xi_y \operatorname{tg} \theta = 0, \quad \eta_x - \eta_y \operatorname{ctg} \theta = 0,$$

where $2\theta = \eta - \xi$; $\sigma = k(\eta + \xi)$. The solution of the problem (7), (8) has a form $\phi = \rho / \cos \theta$, $\psi = 2\rho_\xi / \sin \theta$ where:

$$\begin{aligned} \rho(\xi, \eta) &= R(\xi, \xi_0, \eta, \eta_0) \cos \left(\frac{\eta_0 - \xi_0}{2} \right) - \\ &- \frac{1}{2} \int_{\eta_0}^{\eta} R(\xi, \xi_0, \eta, \tau) \sin \left(\frac{\tau - \xi_0}{2} \right) d\tau. \end{aligned}$$

Accordingly, the solution of the problem (7), (11) is:

$$\begin{aligned} \rho(\xi, \eta) &= R(\xi, \xi_0, \eta, \eta_0) \sin \left(\frac{\eta_0 - \xi_0}{2} \right) + \\ &+ \frac{1}{2} \int_{\eta_0}^{\eta} R(\xi, \xi_0, \eta, \tau) \cos \left(\frac{\tau - \xi_0}{2} \right) d\tau, \end{aligned}$$

where $R(\xi, \eta, \xi_0, \eta_0) = I_0 \left(\sqrt{(\xi - \xi_0)(\eta - \eta_0)} \right)$ is the Bessel function of the zero order of an imaginary argument; $I_0(0) = 1$, $I_0'(0) = 0$.

The generalization of (13) shows that it is a system of ideal plasticity equations under Coulomb's yield criterion of the form:

$$\begin{aligned} \sigma_x(1 + \cos 2\alpha \cos 2\Theta) + \sigma_y \cos 2\alpha \sin 2\Theta &= \\ = 2(\sigma \cos 2\alpha + k \sin 2\alpha)(\Theta_x \sin 2\Theta - \Theta_y \cos 2\Theta), \\ \sigma_x \cos 2\alpha \sin 2\Theta + \sigma_y(1 - \cos 2\alpha \cos 2\Theta) &= \\ = -2(\sigma \cos 2\alpha + k \sin 2\alpha)(\Theta_x \cos 2\Theta + \Theta_y \sin 2\Theta), \end{aligned}$$

where $\pi/2 - 2\alpha$ is a constant angle of internal friction; $\Theta = \theta + \pi/4$. If $\alpha = \pi/4$. Then we have the system (13). In the system described above there is a stress state of granular materials.

This system in the form (1) looks like this:

$$\xi_x + \xi_y \operatorname{tg}(\Theta - \alpha) = 0, \quad \eta_x - \eta_y \operatorname{tg}(\Theta + \alpha) = 0,$$

where $\xi = \frac{1}{2} \operatorname{tg} 2\alpha \ln(\sigma \operatorname{ctg} 2\alpha + k) - \Theta$;

$\eta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} 2\alpha \ln(\sigma \operatorname{ctg} 2\alpha + k) + \Theta$. The solution of problem (7), (8) has a form [4]:

$$\begin{aligned} \phi &= \gamma(-\xi, -\eta) V(\xi, \eta) / \cos(\Theta - \alpha), \\ \gamma(\xi, \eta) &= \exp(-(\xi + \eta)/2 \operatorname{ctg} 2\alpha), \end{aligned}$$

where

$$V = \gamma(\xi_0, \eta_0) R(\xi, \xi_0, \eta, \eta_0) \cos((\eta_0 - \xi_0)/2 - \alpha) -$$

$$-\frac{1}{2} \int_{\eta_0}^{\eta} R(\xi, \xi_0, \eta, \tau) \gamma(\xi_0, \tau) \times \\ \times \left[\sin((\tau - \xi_0) / 2 - \alpha) - \operatorname{ctg} 2\alpha \cos((\tau - \xi_0) / 2 - \alpha) \right] d\tau. \quad (14)$$

The solution of the problem (7), (11) is:

$$V = \gamma(\xi_0, \eta_0) R(\xi, \xi_0, \eta, \eta_0) \sin((\eta_0 - \xi_0) / 2 - \alpha) - \\ - \frac{1}{2} \int_{\eta_0}^{\eta} R(\xi, \xi_0, \eta, \tau) \gamma(\xi_0, \tau) \times \\ \times \left[\operatorname{ctg} 2\alpha \sin((\tau - \xi_0) / 2 - \alpha) - \cos((\tau - \xi_0) / 2 - \alpha) \right] d\tau, \quad (15)$$

where $R(\xi, \eta, \xi_0, \eta_0) = I_0 \left(\sqrt{(\xi - \xi_0)(\eta - \eta_0)} / \sin 2\alpha \right)$. From the equation (9) taken into account (14) we have discovered coordinate x_k . Using (15), and from equations (12) we have received coordinate y_k . This way, we have determined point K , in which the values of functions ξ, η are restored.

С. И. Сенашов, А. Яхно

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОДНОРОДНЫХ ДВУМЕРНЫХ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

Описан метод решения граничных задач для гиперболической системы однородных квазилинейных уравнений двух независимых переменных с применением законов сохранения. Этот метод применяется к задаче Коши для системы двумерной пластичности с условием Сен-Венана–Мизеса, а также для системы с условием Колумба.

Ключевые слова: законы сохранения, двумерная идеальная пластичность

© Senashov S. I., Yakhno A., 2009

УДК 539.3

А. В. Лопатин, Р. В. Авакумов

УСТОЙЧИВОСТЬ ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ С ДВУМЯ СВОБОДНЫМИ КРАЯМИ, НАГРУЖЕННОЙ ИЗГИБАЮЩИМ МОМЕНТОМ В ПЛОСКОСТИ*

Решена задача устойчивости при чистом изгибе ортотропной пластины, у которой два противоположных края свободны, а два других края шарнирно закреплены. Для решения задачи использовался метод конечных разностей.

Ключевые слова: ортотропная пластина, метод конечных разностей.

Задача устойчивости прямоугольной пластины, нагруженной по двум противоположным краям усилиями, распределенными по линейному закону, впервые была решена для изотропной пластины И. Г. Бубновым [1] и С. П. Тимошенко [2]. Для ортотропной пластины эта задача была впервые сформулирована и решена С. Г. Лехницким [3]. Эти классические решения были получены для случая шарнирного закрепления краев пластины в форме двойных тригонометрических рядов. Для определения критического усилия в этих решениях был использован энергетический метод Ритца. Это связано с тем,

The bibliographic list

1. Symmetries and conservation laws for differential equations of mathematical physics : monograph / A. V. Bocharov, V. N. Chetverikov, S. V. Duzhin, et al. Amer. Math. Soc., 1999.
2. Senashov, S. I. The solving of the main boundary problems of plasticity by means of conservation laws. Modern Group Analysis VII, Developments in Theory, Computation and Application / S. I. Senashov, A. N. Yakhno. Norway : MARS Publishers, 1999. P. 149–154.
3. Senashov, S. I. Simmetries and conservation laws of 2-dimensional ideals plasticity / S. I. Senashov, A. M. Vinogradov // Proc. Edinburg Math. Soc. 1988. Vol. 31. P. 415–439.
4. Kiriakov, P. P. Applications of symmetries and conservation laws for solution of differential equations / P. P. Kiriakov, S. I. Senashov, A. N. Yakhno // Publ. of Siberian Branch of Russian Academy of Science. 2001. (In Russian).

что дифференциальное уравнение устойчивости пластины имеет переменный коэффициент и поэтому его интегрирование оказывается затруднительным. Метод Ритца был также использован в [4] и [5] для решения рассматриваемой нами задачи применительно к композитным пластинам с шарнирно закрепленными краями, которые нагружены равномерными сжимающими усилиями.

Таким образом, можно утверждать, что устойчивость пластины при изгибе в плоскости наиболее полно исследована только для самого распространенного вида граничных условий – шарнирного закрепления сторон. Это

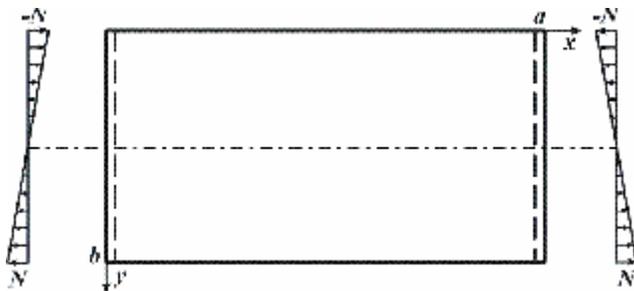
*Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-86П/7).

подтверждает и тот факт, что в справочнике [6] имеется всего одна ссылка на статью К. Нолке [7], в которой рассматриваемая задача решена для пластины с двумя защемленными продольными краями.

Авторами решена задача устойчивости при чистом изгибе ортотропной пластины, у которой два противоположных края свободны, а два других края шарнирно закреплены. Отметим, что для таких граничных условий задача о выпучивании ортотропной пластины при действии сил, линейно распределенных по краям, до настоящего времени не исследована. Задача устойчивости ортотропной пластины для аналогичных граничных условий решена лишь для пластины, нагруженной по краям только равномерными сжимающими усилиями [8].

В данной статье решение исходного уравнения устойчивости разыскивалось в форме Леви. Это позволило свести разрешающее уравнение в частных производных к обыкновенному однородному дифференциальному уравнению, для решения которого использовался метод конечных разностей. В результате была получена однородная система линейных алгебраических уравнений, аппроксимирующая краевую задачу. Задача определения критического усилия была сведена к вычислению безразмерного коэффициента устойчивости, значение которого соответствовало минимальному собственному числу однородной системы уравнений. Также были решены задачи устойчивости для изотропной пластины и симметрично армированной ортотропной пластины и выполнен анализ влияния геометрических и упругих параметров пластины на величину коэффициента устойчивости и на характер волнообразования при выпучивании.

Решение уравнения устойчивости. Рассмотрим ортотропную пластину, срединная плоскость которой отнесена к декартовым координатам x, y (см. рисунок). Обозначим через a и b размеры пластины по осям x и y соответственно. Два противоположных края пластины $y = 0$ и $y = b$ свободны, а два других края $x = 0$ и $x = a$ шарнирно закреплены. По закрепленным краям пластина нагружена нормальными усилиями, изменяющимися по линейному закону. Распределение усилий на краях соответствует двум изгибающим моментам, действующим в плоскости пластины.



Нагружение пластины

Классическое уравнение устойчивости для ортотропной пластины имеет вид

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - N_x^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2N_{xy}^0 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - N_y^0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

где $w = w(x, y)$ – прогиб пластины; $D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33}$ – изгибные жесткости пластины, приведенные в [9]; N_x^0, N_y^0, N_{xy}^0 – мембранные усилия, соответствующие докритическому состоянию пластины.

Будем считать, что исходное напряженное состояние пластины соответствует ее чистому изгибу в плоскости x, y . Тогда мембранные докритические усилия могут быть определены следующим образом:

$$N_x^0 = -N \left(1 - 2 \frac{y}{b} \right), \quad N_{xy}^0 = 0, \quad N_y^0 = 0, \quad (2)$$

где N – значение максимального усилия на краях $y = 0, y = b$.

С учетом равенств (2) уравнение устойчивости (1) примет вид

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{33}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + N \left(1 - 2 \frac{y}{b} \right) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0. \quad (3)$$

Рассмотрим граничные условия. На шарнирно закрепленных краях $x = 0$ и $x = a$ прогибы пластины и изгибающие моменты равны нулю. На свободных краях пластины $y = 0$ и $y = b$ должны отсутствовать изгибающие моменты и обобщенные перерезывающие силы [9]. Эти граничные условия могут быть записаны через прогиб пластины w . Для краев с шарнирными опорами при $x = 0$ и $x = a$ будем иметь

$$w = 0, \quad D_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0. \quad (4)$$

На свободных краях при $y = 0$ и $y = b$ граничные условия можно записать в виде

$$D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad D_{22} \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (D_{12} + 4D_{33}) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} = 0. \quad (5)$$

Таким образом, задача устойчивости пластины сводится к определению параметра N , при котором однородная краевая задача (3), (4) и (5) будет иметь решение, отличное от нуля.

Шарнирное закрепление краев $x = 0$ и $x = a$ допускает представление решения уравнения (3) в форме Леви, т. е. в виде одинарного тригонометрического ряда

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} w_m(y) \sin \lambda_m x, \quad (6)$$

где m – число полуволн вдоль стороны a ; $w_m(y)$ – неизвестная функция; $\lambda_m = m\pi/a$. Однако в рассматриваемой нами задаче нет необходимости аппроксимировать прогиб пластины в направлении оси x рядом (6). Вполне достаточно удержать в нем один, первый член с $m = 1$. На самом деле, при выпучивании пластины ее свободные края не испытывают никакого стеснения. Поэтому искривление пластины всегда происходит с образованием одной полуволны вдоль стороны a . Эта полуволна на краю $y = 0$, где $N_x^0 = -N$, имеет максимальную амплитуду, которая уменьшается к краю $y = b$.

Все вышесказанное позволяет представить решение уравнения (3) в виде

$$w(x, y) = w(y) \sin \lambda x, \quad (7)$$

где $w(y) = w_1(y)$; $1 = \pi/a$.

Подставляя (7) в (3), получим обыкновенное однородное дифференциальное уравнение

$$D_{11}\lambda^2 w - 2(D_{12} + 2D_{33})\frac{d^2 w}{dy^2} + \frac{D_{22}}{\lambda^2}\frac{d^4 w}{dy^4} - N\left(1 - 2\frac{y}{b}\right)w = 0. \quad (8)$$

Здесь и далее $w = w(y)$. Подставляя (7) в граничные условия (5), при $y = 0$ и $y = b$ будем иметь

$$D_{12}\lambda^2 w - D_{22}\frac{d^2 w}{dy^2} = 0, \quad (9)$$

$$-D_{22}\frac{d^3 w}{dy^3} + (D_{12} + 4D_{33})\lambda^2\frac{dw}{dy} = 0. \quad (10)$$

Для решения уравнения (8) воспользуемся методом конечных разностей. Разобьем сторону пластины b на n равных частей. Обозначим через s шаг разбиения. Тогда $s = b/n$. Точки разбиения имеют координаты

$$y_i = s(i-1), \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (11)$$

где $k = n + 1$.

Для произвольной i -й точки аппроксимируем производные, входящие в (8), (9) и (10), следующими конечно-разностными соотношениями:

$$\left(\frac{dw}{dy}\right)_i = \frac{1}{2s}(-w_{i-1} + w_{i+1}),$$

$$\left(\frac{d^2 w}{dy^2}\right)_i = \frac{1}{s^2}(w_{i-1} - 2w_i + w_{i+1}), \quad (12)$$

$$\left(\frac{d^3 w}{dy^3}\right)_i = \frac{1}{2s^3}(-w_{i-2} + 2w_{i-1} - 2w_{i+1} + w_{i+2}),$$

$$\left(\frac{d^4 w}{dy^4}\right)_i = \frac{1}{s^4}(w_{i-2} - 4w_{i-1} + 6w_i - 4w_{i+1} + w_{i+2}),$$

где $w_i = w(y_i)$.

Используя равенства (12), запишем для i -й точки конечно-разностную аппроксимацию дифференциального уравнения (8):

$$D_{11}\lambda^2 w_i - 2\frac{D_{12} + 2D_{33}}{s^2}A_i + \frac{D_{22}}{\lambda^2 s^4}B_i - N\left(1 - 2\frac{y_i}{b}\right)w_i = 0, \quad (13)$$

где A_i и B_i – разностные соотношения, которые имеют следующий вид:

$$A_i = w_{i-1} - 2w_i + w_{i+1},$$

$$B_i = w_{i-2} - 4w_{i-1} + 6w_i - 4w_{i+1} + w_{i+2}. \quad (14)$$

Для удобства дальнейшего анализа преобразуем уравнение (13) к уравнению с безразмерными коэффициентами. Учитывая выражение (11) и равенства $\lambda = \pi/a$, $s = b/n$, из (13) будем иметь

$$\alpha\pi^2 w_i - 2\beta n^2 A_i + \frac{n^4}{\alpha\pi^2} B_i - \eta t_i w_i = 0, \quad (15)$$

где $t_i = 1 - 2(i-1)/n$;

$$\alpha = \sqrt{\frac{D_{11}}{D_{22}} \frac{b^2}{a^2}}; \quad \beta = \frac{D_{12} + 2D_{33}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}; \quad (16)$$

$$\eta = \frac{Nb^2}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}, \quad (17)$$

здесь η – безразмерный коэффициент устойчивости.

Записывая уравнение (15) для всех точек $i = 1, 2, \dots, k$, получим однородную систему линейных алгебраических уравнений, которая наряду с неизвестными w_1, w_2, \dots, w_k будет содержать также неизвестные в законтурных точках.

Покажем место законтурных неизвестных в структуре системы уравнений. Из уравнения (15) следует, что для этого необходимо определить разностные соотношения A_i и B_i на краях пластины $y = 0$ и $y = b$. Положим последовательно в равенствах (14) $i = 1$ и $i = k$. Тогда

$$A_1 = w_0 - 2w_1 + w_2,$$

$$B_1 = w_{-1} - 4w_0 + 6w_1 - 4w_2 + w_3 \quad (18)$$

и

$$A_k = w_{k-1} - 2w_k + w_{k+1},$$

$$B_k = w_{k-2} - 4w_{k-1} + 6w_k - 4w_{k+1} + w_{k+2}. \quad (19)$$

Таким образом, законтурными неизвестными являются $w_{-1}, w_0, w_{k+1}, w_{k+2}$. Отметим, что неизвестные w_0 и w_{k+1} также будут входить в разностные соотношения B_2 и B_{k-1} :

$$B_2 = w_0 - 4w_1 + 6w_2 - 4w_3 + w_4,$$

$$B_{k-1} = w_{k-3} - 4w_{k-2} + 6w_{k-1} - 4w_k + w_{k+1}. \quad (20)$$

Для определения четырех законтурных неизвестных необходимы четыре уравнения, которые можно получить с помощью конечно-разностной аппроксимации граничных условий (9) и (10). Заменяя производные в равенстве (9) конечно-разностными соотношениями (12) при $i = 1$ и $i = k$, будем иметь

$$\beta_1 \pi^2 w_1 - \frac{n^2}{\alpha}(w_0 - 2w_1 + w_2) = 0,$$

$$\beta_1 \pi^2 w_k - \frac{n^2}{\alpha}(w_{k-1} - 2w_k + w_{k+1}) = 0, \quad (21)$$

где

$$\beta_1 = \frac{D_{12}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}. \quad (22)$$

Из уравнений (21) найдем

$$w_0 = (r_1 + 2)w_1 - w_2, \quad w_{k+1} = (r_1 + 2)w_k - w_{k-1}, \quad (23)$$

где $r_1 = \alpha\beta_1\pi^2/n^2$.

Для определения w_{-1} и w_{k+2} аппроксимируем производные в равенстве (10) разностными формулами (12). Подставляя (12) в (10) при $i = 1$ и $i = k$, получим

$$-\frac{n^2}{\alpha}(-w_{-1} + 2w_0 - 2w_2 + w_3) + (\beta_1 + 4\beta_2)\pi^2(-w_0 + w_2) = 0,$$

$$-\frac{n^2}{\alpha}(-w_{k-2} + 2w_{k-1} - 2w_{k+1} + w_{k+2}) + (\beta_1 + 4\beta_2)\pi^2(-w_{k-1} + w_{k+1}) = 0, \quad (24)$$

где

$$\beta_2 = \frac{D_{33}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}. \quad (25)$$

Учитывая (23), из (24) найдем

Коэффициент устойчивости η_{cr} может быть также представлен в виде аналитической формулы, которая получена обработкой результатов вычислений методом наименьших квадратов:

$$\eta_{cr} = \frac{18,9695}{(c - 0,2726)^{0,9559}} \quad (34)$$

Формула (34) дает вполне приемлемые результаты при определении критического коэффициента устойчивости для изотропной пластины.

Во втором примере рассмотрим пластину, которая образована из однонаправленных или ортогонально армированных тонких слоев, уложенных так, что оси основного армирования составляют с осью x углы $\pm\varphi$. При большом числе слоев и одинаковом количестве чередующихся слоев с углами $\pm\varphi$ структуру пластины можно считать однородной и ортотропной. Тогда изгибные жесткости пластины определяются равенствами

$$D_{11} = A_{11} \frac{h^3}{12}, \quad D_{22} = A_{22} \frac{h^3}{12}, \quad D_{12} = A_{12} \frac{h^3}{12},$$

$$D_{33} = A_{33} \frac{h^3}{12}, \quad (35)$$

где

$$A_{11} = \bar{E}_1 c_\varphi^4 + \bar{E}_2 s_\varphi^4 + 2\bar{E}_{12} c_\varphi^2 s_\varphi^2;$$

$$A_{12} = \bar{E}_1 \mu_{12} + (\bar{E}_1 + \bar{E}_2 - 2\bar{E}_{12}) c_\varphi^2 s_\varphi^2;$$

$$A_{22} = \bar{E}_1 s_\varphi^4 + \bar{E}_2 c_\varphi^4 + 2\bar{E}_{12} c_\varphi^2 s_\varphi^2;$$

$$A_{33} = (\bar{E}_1 + \bar{E}_2 - 2\bar{E}_{12} \mu_{12}) c_\varphi^2 s_\varphi^2 + G_{12} (c_\varphi^2 - s_\varphi^2)^2; \quad (36)$$

$$\bar{E}_{12} = \bar{E}_1 \mu_{12} + 2G_{12}; \quad \bar{E}_1 = \frac{E_1}{1 - \mu_{12} \mu_{21}}; \quad \bar{E}_2 = \frac{E_2}{1 - \mu_{12} \mu_{21}};$$

$$c_\varphi = \cos \varphi; \quad s_\varphi = \sin \varphi.$$

Здесь E_1, E_2 – модули упругости в направлении армирования и направлении перпендикулярном ему, G_{12} – модуль сдвига, μ_{12}, μ_{21} – коэффициенты Пуассона.

Учитывая равенства (35), из формул (16), (22) и (25) получим

$$\alpha = \frac{1}{c^2} \sqrt{\frac{A_{11}}{A_{22}}}, \quad \beta = \frac{A_{12} + 2A_{33}}{\sqrt{A_{11} A_{22}}},$$

$$\beta_1 = \frac{A_{12}}{\sqrt{A_{11} A_{22}}}, \quad \beta_2 = \frac{A_{33}}{\sqrt{A_{11} A_{22}}}. \quad (37)$$

Таким образом, для ортотропной пластины коэффициент устойчивости зависит от двух параметров: отношения сторон c и угла армирования φ . Для удобства параметрического анализа преобразуем формулу

$$\eta_{cr} = \frac{N_{cr} b^2}{\sqrt{D_{11} D_{22}}} \quad (38)$$

к следующему виду:

$$\bar{\eta}_{cr} = \frac{N_{cr} b^2}{D_1}, \quad (39)$$

где $\bar{\eta}_{cr} = \eta_{cr} \sqrt{f_{11} f_{22}}$, здесь $f_{11} = A_{11} / E_1$, $f_{22} = A_{22} / E_2$;

$$D_1 = E_1 \frac{h^3}{12}.$$

Выполним анализ влияния c и φ на величину $\bar{\eta}_{cr}$. Расчеты проводились для углепластика с $E_1 = 142,8$ ГПа,

$E_2 = 9,13$ ГПа, $G_{12} = 5,49$ ГПа, $E_1 = 142,8$ ГПа, $\mu_{12} = 2, \mu_{21} = 32$. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость параметров $c, \varphi, \bar{\eta}_{cr}$

c	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
φ	14,0	22,0	22,0	22,0	22,0
$\bar{\eta}_{cr}$	16,17	6,29	3,94	2,88	2,27

Данные табл. 2 показывают, что максимальный коэффициент устойчивости для квадратной пластины ($c = 1$) реализуется при $\varphi = 14^\circ$. С увеличением удлинения пластины оптимальный угол армирования стремится к 22° .

Таким образом, авторами решена задача устойчивости ортотропной пластины, два противоположных края которой свободны, а два других шарнирно закреплены. Пластина нагружена в своей плоскости погонными усилиями, распределенными по линейному закону. Задача определения критического усилия для ортотропной пластины была сведена к вычислению безразмерного коэффициента устойчивости. Величина этого коэффициента зависит от геометрических и упругих параметров пластины. Для решения был использован метод конечных разностей. Критический коэффициент устойчивости определялся как минимальное собственное значение соответствующей системы однородных алгебраических уравнений, аппроксимирующих краевую задачу. Были решены задачи устойчивости для изотропной пластины и ортотропной пластины, состоящей из одинаковых симметрично армированных слоев. В результате выполненного параметрического анализа были определены оптимальные углы армирования для пластин с различными удлинениями. Было исследовано влияние отношения сторон пластины и угла армирования на характер волнообразования при выпучивании.

Библиографический список

1. Bubnov, I. G. Theory of Structures of Ships. Vol. 1 and 2 / I. G. Bubnov. St. Petersburg, 1912, 1914.
2. Timoshenko, S. P. Theory of Elastic Stability / S. P. Timoshenko, J. M. Gere. 2nd ed. N. Y. : McGraw-Hill, 1961.
3. Lekhnitskii, S. G. Anisotropic Plates / S. G. Lekhnitskii. N. Y. : Gordon and Breach Pub. Co., 1968.
4. Reddy, J. N. Theory and analysis of elastic plates / J. N. Reddy. Philadelphia : Taylor & Francis, 1998.
5. Whitney, J. M. Structural Analysis of Laminated Anisotropic Plates / J. M. Whitney. Lancaster, Pa : Technomic Publishing Co., Inc., 1987.
6. Bloom, F. Handbook of Thin Plate Buckling and Postbuckling / F. Bloom, D. Coffin. N. Y. : Chapman & Hall / CRC, 2001.
7. Nolke, K. Biegungsbeulung der Rechteckplatte mit eingepannten Langsrandern / K. Nolke // Der Bauingenieur. 1936. Bd. 17. S. 111.
8. Leissa, A. W. Buckling of laminated composite plates and shell panels : technical report AFWAL-TR-85-3069 / A. W. Leissa. 1985.
9. Vasiliev, V. V. Mechanics of Composite Structures / V. V. Vasiliev. Bristol : Taylor & Francis, 1993.

A. V. Lopatin, R. V. Avakumov

BUCKLING OF ORTHOTROPIC PLATES WITH TWO FREE EDGES LOADED WITH PURE IN-PLANE BENDING MOMENT

Buckling problem of orthotropic plates with two free and two simply-supported edges loaded with pure in-plane bending moment is solved in this paper. Finite difference method is used for problem solving.

Keywords: orthotropic plates, finite difference method.

© Лопатин А. В., Авакумов Р. В., 2009

УДК 519.682

К. В. Сафонов, Д. В. Личаргин

РАЗРАБОТКА ВЕКТОРИЗОВАННОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ НАД СЛОВАМИ И ПОНЯТИЯМИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Обсуждается проблема векторизованных семантических классификаций над словами и понятиями естественного языка. Предложено множество правил порождающей грамматики для генерации вектора семантической классификации. Приведены примеры использования данной классификации. Представлена теорема о недостаточности произвольной формальной классификации. Проанализированы принципы задания осмысленных функций над группами слов классификации.

Ключевые слова: генерация естественного языка, семантика естественного языка.

К числу наиболее важных проблем теории формальных языков, являющейся разделом теоретической информатики, относятся проблемы синтаксического и семантического анализа предложений заданного языка. Применительно же к изучению структуры естественных и машинных языков на первый план выступает проблема генерации осмысленного языка, т. е. совокупности всех грамматически и семантически осмысленных фраз и текстов этого языка, удовлетворяющих определенным критериям осмысленности, например тесту Тьюринга. Актуальность данной проблемы определяется важностью таких прикладных задач, как построение естественно-языковых интерфейсов, экспертных систем, электронных переводчиков, электронных систем реферирования, систем электронного обучения, рекламных программ поддержки диалога с пользователем и т. п.

Основная цель исследования, проведенного авторами, состояла в создании классификации слов и понятий естественного языка, которая бы давала возможность осуществления генерации осмысленной речи и определения критерия осмысленности речи. Для достижения этой цели ставились следующие задачи: определение вектора классификации слов и понятий естественного языка; создание словаря, реализующего эту классификацию на множестве наиболее распространенных слов английского языка; построение алгоритмов генерации осмысленной речи на основе данной классификации; доказательство теоремы о неполноте произвольной формальной классификации для описания оттенков значения слов естественного языка.

Проблема порождения осмысленного подмножества языка изучается многими исследователями: филологами,

программистами, математиками, семасиологами, философами и многими другими [1; 2; 3; 4], при этом наиболее заметные результаты получены в области генерации грамматически осмысленных фраз и структур естественного языка, осуществляемой программами текстовых редакторов, электронными переводчиками и другими системами. Однако генерация семантически осмысленной речи остается менее разработанной темой, хотя многие системы на основе семантических сетей, речевого граффити, онтологий и других методов показывают неплохую эффективность в диалоге с пользователем на естественном языке. Наиболее популярный метод поддержки диалога с пользователем состоит в привлечении баз данных диалога на естественном языке между людьми, участниками форумов и т. п. Но здесь следует отметить все еще недостаточное развитие представления фраз и текстов естественного языка в виде функций и кластеров функций над многомерной семантической классификацией, притом что этот метод показывает свою высокую эффективность для генерации осмысленной речи [5; 6; 7].

Классификация слов и понятий естественного языка. Рассмотрим семантическую классификацию слов и понятий естественного языка, сводимую к 16 классам сем (семантических, смысловых атомов) языка и далее к четырём геносемам (элементарным частицам смысла), а также к понятию связи (кванта смысла), что может быть показано на основе понятийного аппарата семантических сетей. Определение на основе *кванта смысла* представляет собой семантическую сеть, дуги которой несут на себе семантику понятия тождества некоторых элементов, т. е. связи объектов.

На основе четырех элементарных частиц смысла – геносем {система (структура), классификация, локализация в пространстве, восприятие} – можно определять семы естественного языка:

– локализация в пространстве определяется как объект, где подсистемы всех уровней подобны. Так, например, треугольник между звездами галактики подобен любому пропорциональному треугольнику между домами на планете этой звездной системы;

– восприятие определяется как объект, где все подсистемы (воспринимаемое) подобны надсистемам (воспринимающим). Так, например, образы вазы в реальности, в световом потоке, на сетчатке глаза, в мозге и в сознании образуют пирамиду подобия информации;

– структура определяется как объект с разнородными системами и подсистемами. Так, например, структуры кузова и колес автомобиля – разнородны;

– классификация определяется как объект с подобием всех подсистем надсистемам. Так, например, ранетки содержат все свойства яблок, а яблоки – все свойства фруктов.

На основе четырех геносем можно определить 16 классов сем. Приведем пример такого вывода для класса сем «Основные семы»:

– существо – воспринимающее и локализованное в пространстве;

– предмет – невоспринимающее и локализованное в пространстве;

– сознание – воспринимающее и нелокализованное в пространстве;

– абстракция – невоспринимающее и нелокализованное в пространстве;

– идея – воспринимаемое и нелокализуемое;

– место – не обязательно воспринимаемое и локализуемое;

– информация – воспринимаемое и локализуемое;

– абстракция – не обязательно воспринимаемое и нелокализуемое.

Выделим следующие основные классы атомов смысла – сем естественного языка:

1. Основные семы: существо, место, информация и др.

2. Семы вероятности: существующий, несуществующий, необходимый, возможный и производные от них.

3. Семы-предикаты: отношение-х, отношение-х-х, отношение-существо-х и др.

4. Семы-аргументы: субъект, объект, реципиент, инструмент и др.

5. Семы-локализации: часть, в, на, около и др.

6. Семы-отношения: включает, включается в, включает и включается в, частично включает, больше чем, меньше чем и др.

7. Семы-числа: цифры от 0 до 15.

8. Семы неопределенного количества: все, многие, некоторые, мало, никто и др.

9–12. Семы, характеризующие стилистику языка: позитивный – негативный, низкий – возвышенный и др.

13–16. Семы, характеризующие описание образов и форм: широкий – узкий, стабильный – нестабильный и др.

На основе классификации сем естественного языка может быть предложен вектор классификации понятий

естественного языка из пяти координат. Значения координат вектора G задаются при помощи порождающих грамматик следующего вида:

1. Первый уровень классификации понятий соответствует признаку G_1 вектора G. Положим $G_1 = \{\text{ничто, отношение, сознание, идея, информация, место, предмет, существо}\}$.

2. Второй уровень классификации понятий представлен признаком G_2 . Множество G_2 значений признака классификации задается множеством правил порождающей грамматики: $\{S \rightarrow Fd, S \rightarrow Fx, d \rightarrow \text{живого}, d \rightarrow \text{неживого}, x \rightarrow \text{которого живое}, x \rightarrow \text{которого неживое}, F \rightarrow \text{часть (Of)}, F \rightarrow \text{внутри (In)}, F \rightarrow \text{на поверхности (On)}, F \rightarrow \text{около (At)}\}$, где понятие около обозначает любое ненулевое расстояние между объектами.

3. Третий уровень классификации понятий определяется признаком G_3 , где $G_3 = \{X-y (\text{сущность}), X-X-y (\text{сущность чего-то}), \text{отношение}-X-y (\text{свойство}), \text{отношение}-X-X-y (\text{связь}), \text{отношение}-\text{существо}-X-y (\text{действие}), \text{отношение}-\text{существо}-X-X-y (\text{соединение}), \text{отношение}-\text{существо}-\text{существо}-x-y (\text{презентация}), \text{отношение}-\text{существо}-\text{существо}-X-X-y (\text{обмен})\}$, здесь X – любая из основных сем, определенных на первом уровне классификации, а y – любая последовательность таких сем. X выделяется как главная по смыслу сема. Знак минус используется в данном случае для обозначения конкатенации. В круглых скобках приведены смысловые пояснения.

4. Множество G_4 значений признака G задается множеством правил порождающей грамматики $\{S \rightarrow P_1 \cdot P_2 \times P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8, P_1 \rightarrow g\text{-количество}, P_1 \rightarrow \lambda, P_2 \rightarrow g\text{-устойчивость}, P_2 \rightarrow \lambda, P_3 \rightarrow g\text{-позитивность}, P_3 \rightarrow \lambda, P_4 \rightarrow g\text{-спектр}, P_4 \rightarrow \lambda, P_5 \rightarrow g\text{-информативность}, P_5 \rightarrow \lambda, P_6 \rightarrow g\text{-местоположение}, P_6 \rightarrow \lambda, P_7 \rightarrow g\text{-размер}, P_7 \rightarrow \lambda, P_8 \rightarrow g\text{-искусственность}, P_8 \rightarrow \lambda\}$, где g – лингвистическое значение шкалы вида {минимальный, ..., малый, ..., средний, ..., большой, ..., максимальный, λ }. Здесь λ – пустой символ.

5. Множество G_5 значений признака G задается множеством правил порождающей грамматики $\{S \rightarrow x, x \rightarrow (xFx), x \rightarrow xFx, x \rightarrow 1 (\text{существующее}), x \rightarrow 0 (\text{несуществующее}), x \rightarrow \diamond (\text{возможное}), x \rightarrow \square (\text{необходимое}), F \rightarrow \text{включает}, F \rightarrow \text{включается в}, F \rightarrow \text{включает и включается в}, F \rightarrow \text{частично включает}, F \rightarrow \text{больше чем}, F \rightarrow \text{меньше чем}, F \rightarrow \text{равно}, F \rightarrow \text{подобно}, F \rightarrow \text{становится}, F \rightarrow \text{происходит Из}, F \rightarrow \text{одновременно с}, F \rightarrow \text{неодновременно с}, F \rightarrow \text{имплицитует}, F \rightarrow \text{следует Из}, F \rightarrow \text{соответствует}, F \rightarrow \text{связано с}\}$.

Все последующие уровни классификации получаются путем рекурсивного повторения предложенных пяти уровней классификации. Индекс уровня вычисляется по формуле $G_i = G_{\text{mod}(i,5)}$, где i принадлежит множеству целых чисел.

Любому понятию или классу понятий естественного языка соответствует определенный вектор классификации. Например, группе слов {брать, давать, покупать, продавать, принимать, дарить, ...} соответствует вектор вида [предмет \ \ отношение-существо-существо-X]; группе слов {магазин, киоск, супермаркет, ...} соответствует вектор вида [предмет \ в котором живое \ X]

+ [предмет \ \ отношение–существо–существо–X]; слову транспорт соответствует вектор [предмет \ в которм живое \ X] + [место \ \ отношение–существо–X].

Таким образом, каждому слову соответствует множество семантических понятий – точек понятийного пространства. Однако использование пяти координат вектора многомерной классификации является определенным упрощением. В наиболее полном виде эта классификация может основываться на 16 координатах рекурсивно повторяющегося вектора признаков.

Принцип генерации осмысленной речи на основе предложенной классификации протестирован на программном продукте «Электронный разговорник».

Теорема о неполноте формальной классификации. Для обоснования предложенной выше классификации введем определение условно-полной классификации и докажем теорему о неполноте семантической классификации.

Определение 1. Назовем систему представления семантики слов как точек векторного пространства условно-полной, если для произвольного элемента $a \in \{a', a'', a''', \dots\}$, $b \in \{b', b'', b''', \dots\}$, ..., $c \in \{c', c'', c''', \dots\}$ и вектора $v[a, b, \dots, c]$ справедливо, что для любого понятия A , $A \sim a' \vee a'' \vee a''' \vee \dots$, любого понятия B , $B \sim b' \vee b'' \vee b''' \vee \dots$ и любого понятия C , $C \sim c' \vee c'' \vee c''' \vee \dots$, где \sim – знак соответствия.

Теорема. Любая система представления семантики слов как точек векторного пространства характеризуется неполнотой, т. е. для любой классификации существуют слова, элементы значения которых будут классифицироваться данной классификацией не полностью.

Иными словами, для любой классификации A множества слов $\{a_i\}$, где любое $a_k \sim v[a^x, b^y, \dots, c^z]$, смысл слова $S(a_k)$ содержит значение $S(a_k).L_n$, такое что $\neg (S(a_k).L_n \sim S(v[a^x, b^y, \dots, c^z]))$, т. е. $\neg (S(a_k) \in S(v[a^x, b^y, \dots, c^z]))$, где $a = \{a^1, a^2, a^3, \dots\}$; $b = \{b^1, b^2, b^3, \dots\}$; $c = \{c^1, c^2, c^3, \dots\}$.

Приведем пример выхода поля значения за рамки значения, выделенного классификацией, в слове светлый $\sim v[\text{действие}, \dots, \text{от поверхности}, \dots, \text{интенсивное}, \dots]$, $\neg (S(\text{светлый}).\text{лучистый} \sim S(v[\text{действие}, \dots, \text{от поверхности}, \dots, \text{интенсивное}, \dots]))$. Следовательно, эмоциональные и ассоциативные ряды, и, соответственно, ряд элементов значения, выделяемые человеком, не могут быть до конца определены формальной классификацией. Например, невозможно объяснить слепому чувство красного цвета, чтобы он мог его себе представить.

Таким образом, слова соответствуют позициям в классификации по закону исключенного третьего, но при этом их значение не сводится к этому делению.

Лемма 1. Значение слова может иметь сколь угодно большую мощность.

Доказательство. Под мощностью значения слова будем понимать мощность множества $\{S(a_k).L_j\}$ для определенного слова a_k . Пусть значение слова a_k задано определением в виде семантической сети $\{L_j(L_{j'}, L_{j''})\}$. Слово a_k соотносится с объектом реальности, находящимся в системе отношений с внешними объектами, частями этой системы и восприятием этой системы. Поскольку отношение к внешним объектам реальности (расстояние, контактенация, одновременность) определяют смысл $\{L_j(L_{j'},$

$L_{j''})\}$, где $L_{j''}$ – внешний объект, а реальность (например, множество точек пространства, количество литературных миров, время, подмножества множеств объектов и точек) принципиально бесконечна, то множество значений слова принципиально ничем не ограничено: $\{L_{j''}\} = \infty$ \vdash $\{L_j(L_{j'}, L_{j''})\} = \infty$.

К примеру, значение любого слова можно всегда увеличить без ограничений: читающий студент; студент, читающий книгу; студент, сидящий и читающий книгу, и т. д.

Лемма 2. Количество возможных слов с различной семантикой – бесконечно:

$\{L_j(L_{j'}, L_{j''})\} = \infty \vdash \{L_j\} = \infty \vdash \{S(a_k).L_j\} = \infty$, ввиду того, что слово a_k может быть произвольным.

Доказательство. Пусть классификация A задана вектором признаков $v[a, b, \dots, c]$, где $a_k \sim v[a^x, b^y, \dots, c^z]$ и $S(a_k).L_j$ – элемент значения слова a_k ; $a = \{a^1, a^2, a^3, \dots\}$, $b = \{b^1, b^2, b^3, \dots\}$, $c = \{c^1, c^2, c^3, \dots\}$. Пусть для любого a_k справедливо, что $v[a^x, b^y, \dots, c^z] \sim S(a_k)$ и для любой координаты d вектора $v[a, b, \dots, c]$: $d = \{d' \vee \neg d'\} \cup \{d'' \vee \neg d''\} \cup \dots$. Возьмем значение $g = \{g' \vee \neg g'\} \sqcap \{g'' \vee \neg g''\} \cup \dots$, где $g \neq a$, $g \neq b$, ..., $g \neq c$. В результате объединения векторов классификации $v[a, b, \dots, c]$ и $v[g]$ получим вектор $v''[a, b, \dots, c, g]$.

Очевидно, что в силу леммы 2 найдется такое $S(a_p).L_{j''}$, что $S(a_p) \in v''[a, b, \dots, c, g]$. Рассмотрим множество таких элементов значения $E = \{S(a_p).L_{j''}\}$, $I = \{S(a_k).L_j\}$, $I \in E$. Эти множества различны, если g – не пусто ввиду того, что $g \neq a$, $g \neq b$, ..., $g \neq c$. Пусть $Y = E - I$.

Если может иметь место такая классификация $v[a, b, \dots, c]$, что множество Y всегда пусто, тогда всегда либо $S(g) = 0$, либо $S(g) \in S(a) \cup S(b) \cup \dots \cup S(c)$.

Зададим слово a_p , такое что $S(a_p) = S(v[a, b, \dots, c])$. Покажем, что всегда можно подобрать такие g , что Y будет не пусто. В силу леммы 2 найдется слово a_p , такое что $S(a_p) = S(v[a, b, \dots, c, g])$, и такое что его семантика будет отличаться от семантики слова a_p . В противном случае $\{S(a_p)\} \neq \infty$, где $S(a_p)$ – любое значение слова-классификации, поскольку лемма 2 будет справедлива также для отдельно взятого множества слов-классификаций. Следовательно, множество Y будет не пусто и полной классификации $v[a, b, \dots, c]$ не может существовать, что и требовалось доказать.

Таким образом, всегда существует метапонятие, которое привносит дополнительный смысл в классификацию слов. Значит, никакая классификация слов не может передать все значение любого слова.

Данная теорема согласуется с теоремой Геделя о неполноте формальных систем.

Принципы генерации осмысленного естественного языка. Рассмотрим принципы порождения осмысленной речи на основе предложенной выше векторизованной классификации (см. рисунок).

Над данной семантической классификацией слов и понятий естественного языка формируются структуры разного уровня:

- на первом уровне находятся группы слов языка;
- на втором уровне они объединяются в синтагмы – пары слов, связанных семантически и грамматически. На этом уровне задаются сочетания слов, более и менее употребительные в качестве синтагм;

– на третьем уровне слова объединяются в шаблоны вида «*определитель + определение + субъект + модальность + предикат + определитель + определение + объект + связь + определитель + определение + именная группа (обстоятельство времени) + связь + определитель + определение + именная группа (обстоятельство места) + связь + определитель + определение + именная группа (обстоятельство цели) + ...*». Семантические цепочки такого вида представлены следующим образом: «*этот/тот/... + голодный/сытый/... + вегетарианец/гурман/... + может/хочет/... + есть/перекусить/... + этим/каким-нибудь/... + вкусным/ароматным/... + пирогом/салатом/... + после/до/... пяти/шести/... часов + через/за/... пять/шесть/... минут + ... + в + большим/красивом/... + ресторане/столовой/... + на большой/красивой/... улице/площади/... + Иванов/Петрова/... + в большом/красивом/... городе + Абабуйск/Абавуйск/... + чтобы + попробовать/*

узнать/... + острый/пикантный/... + вкус/привкус/... + ...»;

– на четвертом уровне слова дробятся на подмножества этих шаблонов: «*я/он/... + поел/перекусил/... + на улице/площади/... + Пирогова/Гвоздиков/...*» или «*я/он + поел/перекусил/... + утром/вечером/...*»;

– на пятом уровне эти фрагменты шаблонов объединяются в семантические шаблоны второго порядка: «*Вкус пирога удивил меня утром*» (шаблон класса *отношение–атрибут_объекта–время*), «*Ресторан порадовал меня хрустящей корочкой*» (шаблон класса *отношение–место–часть_объекта*).

Генерация и упорядочение семантических шаблонов второго порядка является важной задачей, определяющей успешность систем генерации осмысленной речи программными комплексами.

Пример семантических шаблонов генерации осмысленной речи приведен ниже:

<i>The ...</i> этот ...	<i>of the ...</i> чего ...	<i>is ...</i> является ...	<i>...-a/y-йте(сь)</i>	<i>the ...</i> этот ...	<i>stuff</i> предмет
<i>taste</i> вкус	<i>berry</i> ягода	<i>sweet</i> сладкий	<i>enjoy</i> наслаждаться	<i>good</i> хороший	<i>thing</i> вещь
<i>after-taste</i> привкус	<i>strawberry</i> клубника	<i>sour</i> кислый	<i>feel</i> чувствовать	<i>great</i> великолепный	<i>object</i> объект
<i>smack</i> привкус	<i>raspberry</i> малина	<i>salty</i> соленый	<i>savor</i> смаковать	<i>excellent</i> отличный	<i>gem</i> прелесть
<i>flavor</i> вкус	<i>gooseberry</i> крыжовник	<i>bitter</i> горький	<i>discuss</i> наслаждаться	<i>wonderful</i> чудесный	<i>must</i> важная вещь
	<i>currant</i> смородина	<i>pungent</i> острый	<i>identify</i> узнать	<i>superior</i> превосходный	<i>trifle</i> мелочь
	<i>bilberry</i> черника	<i>weak</i> слабый	<i>notice</i> заметить	<i>splendid</i> великолепный	<i>process</i> процесс
	<i>blackberry</i> черная смородина	<i>strong</i> сильный	<i>learn</i> узнавать	<i>magnificent</i> сказочный	<i>time</i> время
	<i>cranberry</i> клюква		<i>experience</i> испытать	<i>surprising</i> удивительный	<i>moment</i> момент
	<i>sweet cherry</i> черешня			<i>lovely</i> красивый	
	<i>cherry</i> вишня			<i>worthy</i> стоящий	
	<i>grape</i> виноград			<i>useful</i> полезный	
	<i>raisin</i> изюм			<i>funny</i> забавный	

Таким образом, метод семантической классификации с заданием на ней структур различного уровня является перспективным методом анализа и синтеза естественного языка и генерации осмысленной речи. Эффективность данной классификации была показана на соответствующих программных продуктах.

Библиографический список

1. Агамджанова, В. И. Контекстуальная избыточность лексического значения слова / В. И. Агамджанова. М. : Высш. шк., 1977.



Фразы естественного языка как функции на дереве семантической классификации

2. Апресян, Ю. Д. Идеи и методы современной структурной лингвистики / Ю. Д. Апресян. М. : Наука, 1966.
3. Вердиева, З. Н. Семантические поля в современном английском языке / З. Н. Вердиева. М. : Высш. шк., 1986.
4. Никитин, М. В. Лексическое значение слова / М. В. Никитин. М. : Высш. шк., 1983.
5. Личаргин, Д. В. Операции над семами слов естественного языка в машинном переводе / Д. В. Личаргин // Тр. конф. молодых ученых / Ин-т вычисл. моделирования Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. Красноярск, 2003. С. 23–31.

6. Личаргин, Д. В. Устранение семантического шума как средство адекватного перевода / Д. В. Личаргин // Вопросы теории и практики перевода : тр. Всерос. конф. Пенза : Приволж. дом знаний, 2003. С. 90–92.
7. Личаргин, Д. В. Порождение фраз естественного языка в рамках задачи построения естественно-языкового интерфейса с программным обеспечением / Д. В. Личаргин // Проблемы информации региона (ПИР-2003) : материалы Восьмой Всерос. конф. / Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 2003. Т. 2. С. 152–156.

K. V. Safonov, D. V. Lichargin

ELABORATION OF A VECTOR BASED SEMANTIC CLASSIFICATION OVER THE WORDS AND NOTIONS OF THE NATURAL LANGUAGE

The problem of vector-based semantic classification over the words and notions of the natural language is discussed. A set of generative grammar rules for the generation of the semantic classification vector is offered. The examples of the classification application are given. A theorem of optional formal classification incompleteness is presented. The principles of assigning of the meaning-bearing functions over the classification word groups are analyzed.

Keywords: natural language generation, natural language semantics.

© Сафонов К. В., Личаргин Д. В., 2009

УДК 519.688

П. В. Галушин, Е. С. Семенкин

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ*

Предложена модификация вероятностного генетического алгоритма, в которой вместо стандартных операторов мутации и селекции, действующих на отдельные решения (особи), используются операторы, действующие на распределение вероятностей компонент вектора решений (генов). Проведено сравнение надежности и эффективности базового алгоритма и его модификаций на множестве тестовых функций и задаче формирования кредитного портфеля банка.

Ключевые слова: вероятностный генетический алгоритм, мутация, селекция.

Вероятностный генетический алгоритм (ВГА) является попыткой создания алгоритма, имеющего схему, похожую на схему традиционного генетического алгоритма (ГА), и сохраняющего основные свойства генетических операторов, но сформулированного в терминах теории псевдодобулевой оптимизации [1]. В вероятностном генетическом алгоритме, в отличие от традиционного ГА, явным образом вычисляются компоненты вектора вероятностей и отсутствует оператор скрещивания (вместо него используется оператор случайного выбора решения в соответствии с построенным распределением), однако сохранены генетические операторы мутации и селекции.

Целью проведенного авторами исследования была разработка модификации вероятностного генетического

алгоритма, в которой операторы мутации и селекции действуют не на отдельных особей, а на распределение вероятностей значений генов в целом, а также сравнение эффективности и надежности предложенных модификаций и базового алгоритма.

Асимптотическая мутация. В ВГА мутация производится так же, как и в традиционном ГА, – путем случайного инвертирования генов хромосомы с заданной вероятностью (как правило, эта вероятность выбирается очень малой). Так как гены мутируют независимо, то мы можем ограничиться рассмотрением одного гена. Установленные ниже соотношения будут иметь место для каждого гена хромосомы.

Обозначим вероятность того, что ген до мутации был равен единице, как p . Необходимо определить, чему рав-

* Работа выполнена при финансовой поддержке АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710) и Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-136П/3).

на вероятность того, что этот ген будет равен единице после мутации. Обозначим искомую вероятность как p' , а вероятность мутации – как p_m .

Ген после мутации может оказаться равным единице в следующих случаях: ген был равен единице до мутации и не мутировал или ген был равен нулю до мутации и мутировал. Обозначим ген до мутации как x , ген после мутации – как y , тогда

$$\begin{aligned} P\{y = 1\} &= P\{x = 1\}(1 - p_m) + P\{x = 0\}p_m = \\ &= p(1 - p_m) + (1 - p)p_m = p_m + p(1 - 2p_m). \end{aligned}$$

Используя введенные выше обозначения для вероятностей значений генов и вероятности мутации, получим

$$p' = p_m + p(1 - 2p_m). \quad (1)$$

Эту формулу можно использовать для реализации оператора мутации, действующего на распределение, а не на гены отдельных решений. Отличие данной схемы от традиционной схемы мутации ВГА заключается в следующем: этап мутации в его традиционном понимании устраняется, но после того как распределение генов промежуточной популяции будет оценено, каждая компонента вектора вероятностей должна быть преобразована с помощью формулы (1). Такое преобразование можно назвать *оператором мутации, действующим на распределение*, или *асимптотическим оператором мутации*.

Можно сказать, что традиционная реализация мутации в ВГА есть вычисление распределения генов после мутации с помощью метода Монте-Карло, которое сводится к стохастической аппроксимации результатов вычисления по формуле (1). Название *асимптотическая мутация* обусловлено тем, что данная процедура является предельным случаем традиционного оператора мутации при размере популяции, стремящемся к бесконечности.

Рассмотрим некоторые свойства предложенной процедуры мутации. Преобразование, которое она задает, является линейным, сжимающим отрезок $[0; 1]$ до отрезка $[p_m; 1 - p_m]$. Действительно, линейность следует непосредственно из формулы (1), а границы интервала можно получить, подставив вместо p значения 0 и 1 соответственно. Так как линейная функция является монотонной, то значения из интервала $[0; 1]$ будут отображаться в интервал $[p_m; 1 - p_m]$. Таким образом, мутация не позволяет вероятности p приближаться к 0 или 1 более чем на величину p_m . Это исключает вырождение распределения, а значит и преждевременную сходимость по отдельным компонентам бинарного представления решения.

Легко проверить, что $p = 0,5$ является неподвижной точкой данного отображения, т. е. если значения гена были равновероятны до мутации, то это свойство сохранится и после мутации. Таким образом, предложенная выше процедура корректировки распределения делает его более близким к равномерному распределению.

Другой особенностью рассматриваемой нами процедуры является то, что время ее выполнения не зависит от размера популяции, так как она требует только простого линейного преобразования компонент вектора вероятностей.

При использовании традиционной процедуры мутации на каждой итерации алгоритма для каждого гена каждого решения необходимо генерировать случайное действительное число, равномерно распределенное на ин-

тервале $[0; 1]$, и если оно попадает в интервал $[0; p_m]$, где p_m – вероятность мутации, то ген необходимо инвертировать. Таким образом, при использовании стандартной реализации оператора мутации на каждой итерации необходимо выполнить $O(N; M)$ действий, где N – размер популяции; M – число генов. При этом большая часть генов не будет инвертирована, так как вероятность мутации обычно выбирается очень малой.

Но какова вероятность того, что решение вообще не изменится в ходе мутации? Решение не изменится, если ни один из его генов не будет изменен. Вероятность того, что данный ген не будет изменен, не зависит от того, были ли изменены другие гены, и равна $1 - p_m = q_m$. По правилу вычисления вероятности одновременного наступления независимых событий получаем, что искомая вероятность $Q = (1 - p_m)^M$. Для выбора вероятности мутации часто используется следующее правило: $p_m = 1/M$, тогда $Q \approx e^{-1}$. Данное соотношение выполняется довольно точно уже при M , равном 10. Это значит, что более трети решений в ходе мутации вообще не изменятся, т. е. все вычисления, связанные с реализацией оператора мутации, действующего на решения, более чем в трети случаев проводятся только для того, чтобы установить, что никаких действий выполнять не нужно.

Разработанный авторами подход к реализации мутации лишен этих недостатков. Его алгоритмическая сложность для одной итерации равна $O(M)$, т. е. время проработки этого этапа не зависит от размера популяции. На практике это означает, что временные затраты на проработку мутации становятся исчезающе малыми по сравнению с этапами, сложность которых зависит от размера популяции (в вероятностном генетическом алгоритме таким этапом является селекция).

В предложенной реализации оператора мутации не требуется генерировать случайные числа (что может быть весьма затратной операцией). Вероятности генов вычисляются независимо друг от друга, поэтому данная процедура может быть реализована на параллельном или векторном аппаратном обеспечении. Кроме того, описанный подход, в отличие от традиционного, не включает условную логику (команды ветвления), благодаря чему он является более дружественным для современных микропроцессоров с конвейерной архитектурой [2].

Необходимо также отметить следующее: несмотря на то что в рассматриваемой модификации ВГА отсутствует традиционная процедура мутации, параметр этой процедуры – вероятность мутации – сохраняется, поэтому пользователь должен настраивать этот параметр. Данный факт может рассматриваться и как недостаток, и как преимущество. С одной стороны, было бы удобно избавить пользователя от необходимости настройки параметров. С другой стороны, предложенная модификация не делает никаких предположений о вероятности мутации, а значит она может быть использована вместе с любыми методами назначения вероятности мутации, в том числе и с адаптивными, которые настраивают вероятность мутации в ходе процесса поиска.

Описанная выше процедура корректировки распределения может быть интерпретирована не только как реализация процедуры мутации, но и как дополнительный

этап расчета распределения, целью которого является предотвращение вырождения распределения, а следовательно преждевременной сходимости отдельных компонент вектора, представляющего решения.

Связь между распределениями генов до и после мутации аналогична связи между классической и байесовской оценками вероятности по выборочной частоте, которая задается следующей формулой:

$$p_B = \frac{np+C}{n+2C},$$

где p_B – байесовская оценка вероятности по частоте; p – классическая оценка вероятности по частоте (отношение числа опытов, в которых событие произошло, к общему числу опытов); n – общее число проведенных опытов; C – параметр, который обычно выбирают равным 1.

Проведя элементарные преобразования, получим, что байесовская оценка вероятности эквивалентна мутировавшей классической оценке вероятности мутации, если выбрать вероятность мутации равной $C/(n+2C)$.

Асимптотическая селекция. А теперь обратимся к этапу селекции. В ВГА, как и в традиционном ГА, на данном этапе производится формирование промежуточного поколения, причем вероятность быть отобранными будет выше у тех особей, которые имеют большее значение пригодности. После того как промежуточная популяция сформирована, производится мутация и вычисление вероятностей значений генов. Эту процедуру можно рассматривать как построение оценки по методу Монте-Карло, аналогично тому, как это было сделано выше для процедуры мутации. Но так как распределение точно известно, то мы можем просто рассчитать искомую величину вместо того, чтобы оценивать ее.

Пусть популяция состоит из особей x_1, \dots, x_n , каждой из которых назначена вероятность быть отобранной в одном испытании g_1, \dots, g_n . Подсчитаем математическое ожидание вероятности того, что i -й ген окажется равным единице в одном испытании:

$$p^{(i)} = \sum_{k=1}^n x_k^{(i)} g_k.$$

Таким образом, если известны вероятности отбора, то можно получить распределение генов в промежуточной популяции без явного выполнения процедуры селекции. Такой подход можно назвать асимптотическим, так как распределение, полученное с его помощью, является пределом для распределения, получаемого с использованием традиционного подхода, при размере промежуточной популяции, стремящемся к бесконечности.

В методах пропорциональной и ранговой селекции вероятности прохождения отбора вычисляются явно, поэтому асимптотический подход может быть применен к ним непосредственно. При использовании же турнирной селекции применение предлагаемого подхода в существующем виде невозможно. Тем не менее турнирная селекция во многих случаях оказывается более надежной и эффективной, чем другие методы селекции, поэтому распространение асимптотического подхода к селекции именно на этот метод является важной задачей.

Покажем, что турнирная селекция является разновидностью ранговой селекции без явного вычисления веро-

ятностей. Рассмотрим процедуру отбора в данном методе селекции: отбор в турнирную группу производится независимо от значений пригодности, а победителем турнира становится особь с наибольшим значением пригодности. При поиске наибольшего значения важны не сами значения, а отношения порядка между ними, поэтому очевидно, что результат выполнения процедуры зависит не от значений пригодности, а только от рангов этих значений. И для того чтобы построить асимптотический метод селекции, эквивалентный классической турнирной селекции, необходимо выяснить зависимость вероятности прохождения отбора от ранга.

Пусть размер турнирной группы равен S . Предположим сначала для простоты, что все решения имеют различную пригодность. Подсчитаем вероятность того, что особь с k -м значением пригодности пройдет отбор. В турнирную группу каждое решение может попасть с равной вероятностью, т. е. распределение равномерное. Победителем турнира будет особь с наибольшим рангом, т. е. ранг победителя турнира распределен как максимум S равномерно распределенных случайных величин [3]:

$$g_k = \frac{k^S - (k-1)^S}{n^S}.$$

Рассмотрим теперь случай повторяющихся значений пригодности. Пусть в популяции встречается K различных значений пригодности и k -е значение встречается n_k раз. Тогда имеет место равенство

$$\sum_{k=1}^K n_k = n.$$

В этом случае удобнее получить выражения не для вероятностей g_k , а для накопленных вероятностей G_k , которые задаются следующим образом:

$$G_1 = g_1, \\ G_k = G_{k-1} + g_k, \quad k = 2, \dots, K.$$

Так как решения отбираются в турнирную группу независимо от их пригодности, то все возможные турнирные группы имеют одинаковую вероятность, а k -я накопленная вероятность равна количеству выборок, содержащих только решения со значением пригодности, меньше либо равной k , отнесенной к общему числу различных выборок:

$$G_k = \frac{1}{n^S} \left(\sum_{j=1}^n n_j \right)^S.$$

В предложенной в данной статье модификации ВГА при прочих равных условиях требуется генерировать примерно в два раза меньше случайных чисел, чем в традиционном ВГА. Кроме того, при применении асимптотической селекции отсутствует необходимость формирования промежуточной популяции: распределение генов рассчитывается непосредственно по текущей популяции, следовательно реализация алгоритма требует меньше памяти (если, как это обычно и имеет место, число генов велико, то требуется почти в два раза меньше оперативной памяти).

Используя описанные выше методы реализации асимптотической мутации и селекции, получим модификацию ВГА со следующей схемой:

1. Создать и оценить начальную популяцию с равномерным распределением генов.
2. Если выполнен критерий останова, то прекратить работу.
3. Построить распределение с помощью асимптотического метода селекции.
4. Скорректировать распределение с помощью асимптотического оператора мутации.
5. Создать новую популяцию с полученным распределением вероятностей генов. Оценить новую популяцию.
6. Перейти к п. 2.

Сравнение базового алгоритма ВГА и его модификаций на множестве тестовых функций. Характеристиками качества стохастических методов оптимизации являются надежность (доля запусков алгоритма, в которых был найден глобальный оптимум) и среднее количество вычислений целевой функции для достижения оптимума (усреднение в этом случае производится по успешным запускам). Лучшим, как правило, считается алгоритм, обладающий большей надежностью; если же надежности двух алгоритмов равны, то лучшим из них является тот, который производит меньше вычислений целевой функции.

Количество вычислений целевой функции до достижения оптимума является второстепенной характеристикой, так как этот показатель при низкой надежности алгоритма оптимизации может быть неадекватным: алгоритм может найти глобальный минимум только при удачной начальной популяции (много точек в зоне притяжения глобального оптимума), причем в этом случае алгоритм сходится очень быстро. Кроме того, низкая надежность означает, что усреднение скорости производится по выборке небольшого объема, следовательно оценка имеет большую дисперсию.

Вероятностный генетический алгоритм является стохастическим методом оптимизации, поэтому качество его работы нельзя оценивать по результатам одного запуска. Необходимо выполнить большое число запусков с одинаковыми настройками и усреднить результаты.

При сравнении алгоритмов использовались следующие настройки: размер популяции – 100, максимальное число итераций – 50, число запусков для определения характеристик качества – 1 000, мутация – слабая, метод кодирования – код Грея. Сравнение производилось отдельно для каждого метода селекции и тестовой функции, причем оценка характеристик выполнялась пять раз. Для тестирования были использованы те же стандартные тестовые функции, что и в работе [1].

Для проверки гипотез о значимости различий использовался непараметрический критерий согласия Уилкоксона–Манна–Уитни [4] с объемом выборок 5. Результаты тестирования алгоритмов приведены в табл. 1, в которой указаны медианы усредненных по всем тестовым

функциям значений. В столбце «Результат» приводится количество тестовых функций, на которых качество одного алгоритма статистически значимо отличается от другого (общее число тестовых функций – 16); значения для базового алгоритма и модификации приведены через косую черту.

Анализ данных табл. 1 показывает, что во всех случаях либо алгоритмы различаются статистически незначимо, либо предложенная модификация ВГА превосходит базовый алгоритм. Также следует отметить, что модификация базового алгоритма не уступает этому алгоритму по надежности (а в некоторых случаях – даже статистически значимо превосходит его), однако в большинстве случаев модификации требуется большее (в среднем) количество вычислений целевой функции до достижения оптимума. Если учесть, что ВГА проектировался для решения задач глобальной оптимизации, то такой компромисс выглядит вполне приемлемым.

Небольшое повышение надежности и увеличение затрат можно объяснить тем, что вероятности отбора для решений с малым значением пригодности малы, следовательно при использовании традиционных методов селекции эти решения редко попадают в промежуточную популяцию и оказывают влияние на построенное по ней распределение. При применении асимптотической селекции все решения на каждом поколении вносят определенный вклад в распределение (отметим, что для плохих решений этот вклад мал). Естественно, что учет плохих решений уменьшает скорость локальной сходимости, а значит и вероятность захвата локальным минимумом, что в свою очередь повышает вероятность нахождения глобального минимума.

Сравнение алгоритмов при решении задачи формирования кредитного портфеля банка. Проведем сравнение стандартного ВГА и его модификаций при решении задачи формирования кредитного портфеля банка (условия взяты из работы [5]). Данная задача относится к классу задач условной псевдодобулевой оптимизации, т. е. оптимизации функций, отображающий булев гиперкуб на множество вещественных чисел. Размерность пространства поиска равна 50. Для учета ограничений использовался метод динамических штрафов [6]. Размер популяции был выбран равным 1 000, число итераций – 100, число запусков для усреднения – 100. Для каждого метода селекции производилась проверка равенства математических ожиданий доходности лучшего портфеля, найденного базовым алгоритмом и его модификациями. Для проверки значимости различия использовался критерий Стьюдента [4]. Размер выборок достаточно велик (100), поэтому можно использовать асимптотическое критическое значение статистики Стьюдента. Для уровня значимости 0,95 оно составляет примерно 1,97.

Таблица 1

Результаты тестирования

Вид селекции	Базовый алгоритм		Модификация		Результат
	Надежность	Затраты	Надежность	Затраты	
Пропорциональная	0,44	2 100	0,52	2 100	0/7
Ранговая	0,46	2 200	0,62	2 300	0/7
Турнирная	0,48	2 100	0,65	2 300	0/8

Для задачи формирования кредитного портфеля банка было произведено исчерпывающее сравнение всех четырех возможных вариантов ВГА: базового вероятностного генетического алгоритма, вероятностного генетического алгоритма с асимптотической мутацией и обычной селекцией (ВГА-М), вероятностного генетического алгоритма с асимптотической селекцией и обычной мутацией (ВГА-С), вероятностного генетического алгоритма с асимптотическими селекцией и мутацией (ВГА-МС). Результаты численных экспериментов сведены в табл. 2, в которой указаны средние значения целевой функции, найденного алгоритмом, выборочное среднеквадратичное отклонение этой величины и время выполнения алгоритма.

Проверка гипотезы о равенстве математических ожиданий по критерию Стьюдента показывает, что эффективность алгоритмов с асимптотической мутацией или асимптотической селекцией (ВГА-М или ВГА-С) отличается от базового алгоритма статистически незначимо (на уровне значимости 0,95). Кроме того, эффективность этих двух алгоритмов также различается статистически незначимо. Различие же между алгоритмом, использующим и асимптотическую мутацию, и асимптотическое скрещивание (ВГА-МС), и остальными зависит от типа селекции: при использовании пропорциональной и ранговой селекции эффективность ВГА-МС статистически значительно превосходит эффективность трех остальных алгоритмов, а в случае использования турнирной селекции статистически значимых различий нет.

В заключение проанализируем время выполнения различных вариантов ВГА. Данные табл. 2 показывают, что во всех случаях базовый ВГА уступает его асимптотическим модификациям. Более того, алгоритм, использующий и асимптотическую мутацию, и асимптотическую селекцию, при использовании пропорциональной и ранговой селекции превосходит алгоритмы, у которых только один из этих этапов является асимптотическим. При использовании турнирной селекции самым быстрым является ВГА с асимптотической мутацией и обычной селекцией. Этот факт может быть объяснен следую-

щим образом: асимптотический вариант турнирной селекции производит относительно дорогую операцию – сортировку популяции, которая отсутствует в обычной турнирной селекции (отбор в зависимости от рангов значений без их сортировки – одна из причин популярности данного метода селекции). Тем не менее использование асимптотических мутации и селекции не замедляет алгоритм по сравнению с базовым ВГА.

Таким образом, можно заключить, что асимптотические варианты вероятностного генетического алгоритма действительно оправдывают свое предназначение – быть статистически эквивалентными вариантами ВГА, требующими меньших вычислительных ресурсов на проработку алгоритма.

Библиографический список

1. Семенкин, Е. С. Вероятностные эволюционные алгоритмы оптимизации сложных систем / Е. С. Семенкин, Е. А. Сопов // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'05) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2005). В 3 т. Т. 1. М. : Физматлит, 2005.
2. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий : пер. с англ. / А. В. Ахо, М. С. Лам, Р. Сети, Д. Д. Ульман. 2-е изд. М. : Вильямс, 2008.
3. Кнут, Д. Э. Искусство программирования. В 2 т. Т. 2. Получисленные методы : пер. с англ. / Д. Э. Кнут. 3-е изд. М. : Вильямс, 2007.
4. Айвазян, С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных : справ. изд. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. М. : Финансы и статистика, 1983.
5. Пуртиков, В. А. Оптимизация управления формированием кредитного портфеля банка : дис. ... канд. техн. наук / В. А. Пуртиков. Красноярск, 2001.
6. Michalewicz, Z. Evolutionary Algorithms for Constrained Parameter Optimization Problems / Z. Michalewicz, M. Schoenauer. Evolutionary Computation. 1996. № 4 (1). P. 1–32.

Таблица 2

Задача формирования кредитного портфеля

Метод селекции	Алгоритм	Среднее	Среднеквадратичное отклонение	Время, с
Пропорциональная	ВГА	199 581	62,74	1,32
	ВГА-М	199 579	57,41	1,28
	ВГА-С	199 585	75,34	1,09
	ВГА-МС	199 605	59,98	0,94
Ранговая	ВГА	199 631	38,35	1,71
	ВГА-М	199 631	37,84	1,59
	ВГА-С	199 633	40,45	1,48
	ВГА-МС	199 646	38,39	1,27
Турнирная	ВГА	199 634	48,91	1,37
	ВГА-М	199 634	48,79	1,11
	ВГА-С	199 635	38,43	1,34
	ВГА-МС	199 639	46,09	1,24

ASYMPTOTIC PROBABILISTIC GENETIC ALGORITHM

This paper proposes the modification of probabilistic genetic algorithm, which uses genetic operators, influencing not particular solutions, but the probabilities distribution of solution vector components. This paper also compares reliability and efficiency of the basic algorithm and proposed modification using the set of test functions and the bank credit portfolio formation problem.

Keywords: probabilistic genetic algorithm, mutation, selection.

© Галушин П. В., Семенкин Е. С., 2009

УДК 621.317.799

В. М. Владимиров, Э. Ф. Гринин, М. Е. Сергей, В. Н. Шепов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ЧЕТЫРЕХЗОНДОВЫМ МЕТОДОМ*

Разработан автоматизированный измеритель удельного электросопротивления монокристаллического кремния четырехзондовым методом.

Ключевые слова: автоматизированный измеритель, монокристаллический кремний, удельное электросопротивление, четырехзондовый метод.

Современный уровень производства и анализа качества монокристаллического кремния требует разработки измерителей удельного электросопротивления (УЭС) нового поколения, позволяющих проводить измерения УЭС в автоматическом режиме, с высокой скоростью и точностью. Из всех методов измерения УЭС монокристаллического кремния только четырехзондовый метод признан Международной организацией по полупроводниковому оборудованию и материалам (Semiconductor Equipment & Materials International, SEMI) в качестве арбитражного. Данный метод рекомендован и российским ГОСТ 19658–81 [1].

На основе требований к оборудованию и методикам измерения и расчета УЭС системы международных стандартов SEMI** авторами разработан прибор «Рометр», предназначенный для автоматизированного измерения УЭС пластин и слитков монокристаллического кремния четырехзондовым методом.

Конструкция прибора «Рометр». Прибор состоит из следующих основных функциональных элементов (рис. 1): четырехзондовой головки с линейным расположением зондов; двух источников питания (один – для измерительной схемы, второй – для питания шаговых двигателей); калиброванного источника тока для внешних зондов че-

тырехзондовой головки; двух микроконтроллеров (один – для управления работой измерительной схемы, второй – для управления перемещением четырехзондовой головки и столика с образцом); аналого-цифрового преобразователя (АЦП); аналоговых эквивалентов; измерительного усилителя; датчика температуры; схемы управления двигателями (СУД); датчика углового перемещения столика; датчика рабочего положения четырехзондовой головки.

В приборе применена четырехзондовая головка фирмы Jandel Engineering Ltd с межзондовым расстоянием 1,59 мм, которая обеспечивает подачу на измеряемый образец постоянного тока заданной величины по внешним зондам и измерение возникающей разности потенциалов на внутренних зондах, к которым подключен измерительный усилитель. С выхода усилителя аналоговый сигнал подается на вход 18-разрядного АЦП MAX132 и преобразуется в цифровой код, далее он поступает на вход первого микроконтроллера ATMEGA8, управляющего работой измерительной схемы, и затем на персональный компьютер. Источник стабилизированного питания измерительной схемы обеспечивает стабильные постоянные напряжения +15 и –15 В для работы измерительного усилителя, источника тока, АЦП и +5 В для пер-

* Работа выполнена при финансовой поддержке программы Сибирского отделения Российской академии наук «Импортозамещение».

** SEMI MF84. Standard Test Methods for Measuring Resistivity of Silicon Wafers With an In-Line Four-Point Probe; SEMI MF81. Standard Test Methods for Measuring Radial Resistivity Variation on Silicon Slices; SEMI MF1527. Standard Guide for Application of Silicon Standard Reference Materials and Reference Wafers for Calibration and Control of Instruments for Measuring Resistivity of Silicon.

вого микроконтроллера и датчика температуры. Второй стабилизированный источник питания вырабатывает напряжение +10 В для питания шаговых двигателей и +5 В для питания второго микроконтроллера ATMEGA8 и СУД. Эти источники питания выполнены в отдельных экранированных корпусах для уменьшения влияния помех на измерительный усилитель.

Источник тока для четырехзондовой головки предназначен для выработки дискретно перестраиваемых значений постоянного тока 0,25; 2,5; 25; 250 мкА; 2,5; 25; 100 мА с возможностью коммутации полярности. Каждое значение тока задается в соответствующем диапазоне измеряемых величин УЭС согласно стандарту SEMI MF84. В режиме измерений ток через внешние зонды четырехзондовой головки подается на измеряемый образец, а в режиме калибровки – на аналоговые эквиваленты – семь прецизионных резисторов (10 000; 1 000; 100; 10; 1; 0,1; 0,01 Ом), подключенных в режиме калибровки к источнику тока через резисторы, имитирующие переходное сопротивление между каждым наконечником зонда и образцом кремния.

Контроль температуры пластин и слитков монокристаллического кремния обеспечивается датчиком температуры DS1820, выходной сигнал с которого поступает на вход первого микроконтроллера. СУД подает импульсы напряжения питания на обмотки шаговых двигателей в нужной последовательности для обеспечения вращения в прямом или реверсном направлении по командам второго микроконтроллера. В приборе «Рометр» применены шаговые двигатели типа ДШИ-200-1. Датчик углового перемещения ЛИР458А контролирует угол поворота подвижной части столика с образцом кремния относительно четырехзондовой головки. Выходной сигнал

датчика в цифровом коде поступает на второй микроконтроллер. Концевые выключатели вертикального (КВВП) (верхний и нижний) и горизонтального перемещений (КВП) (передний и задний) передают контрольные сигналы на второй микроконтроллер в моменты, когда положение четырехзондовой головки или измерительного столика достигло крайних значений. Оптический датчик рабочего положения четырехзондовой головки АОТ 147-А подает контрольный сигнал на второй микроконтроллер, когда давление зондов на образец достигает величины, рекомендованной в стандарте SEMI MF84.

Управляющая программа. Программа, управляющая работой прибора «Рометр», состоит из четырех подпрограмм, позволяющих проводить измерения УЭС монокристаллического кремния в четырех режимах: измерение УЭС в одной точке заданное количество раз; измерение УЭС в шести точках согласно стандарту SEMI MF81 (вариант В); измерение карты сопротивлений согласно стандартам SEMI MF81 и MF1527; измерение УЭС объемных нестандартных образцов. Управляющая программа позволяет в автоматическом режиме провести калибровку прибора по аналоговым эквивалентам, измерить толщину пластины или слитка кремния, задать необходимую величину тока на внешних зондах четырехзондовой головки, измерить разность потенциалов между внутренними зондами и рассчитать значение УЭС по методике, приведенной в стандарте SEMI MF84 с учетом поправочных коэффициентов на геометрию образца и его температуру. Протокол измерений УЭС отображается в окне программы, что позволяет контролировать значения УЭС в процессе измерения.

Прибор «Рометр» работает следующим образом. После запуска управляющей программы с платы СУД

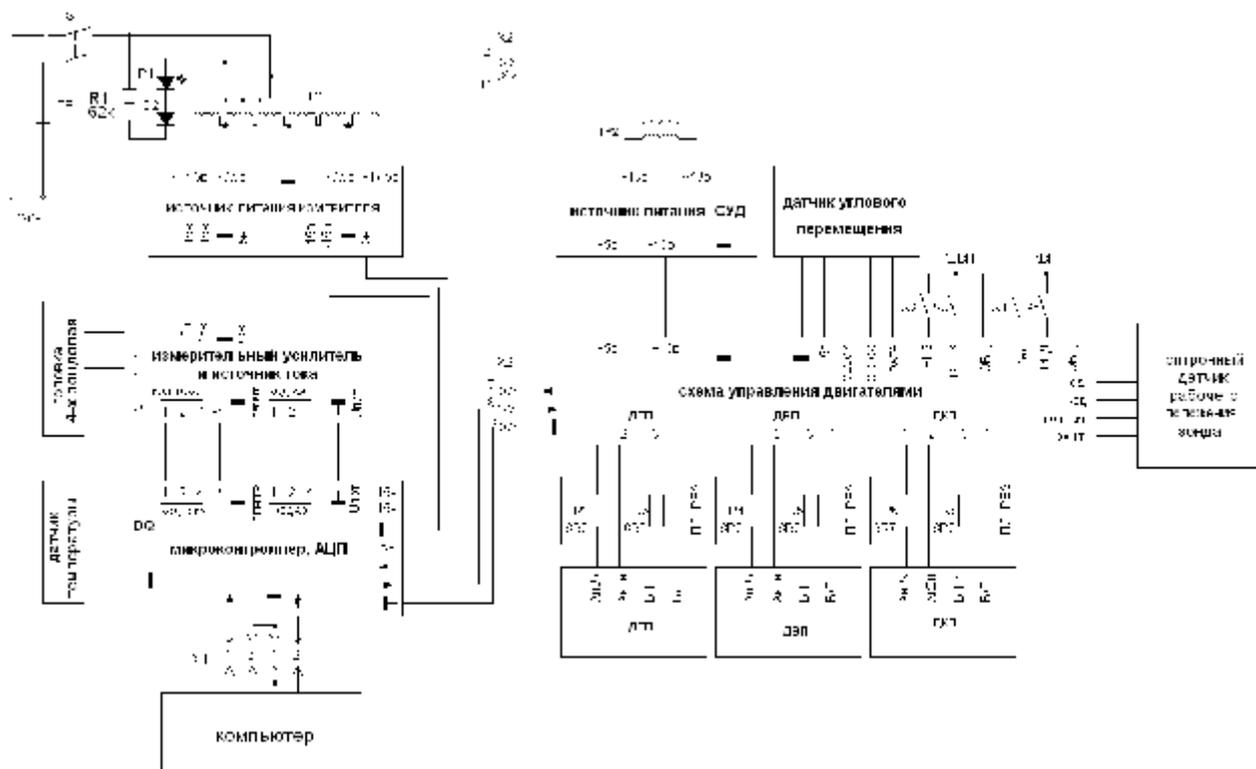


Рис. 1. Блок-схема прибора «Рометр»

подается сигнал на двигатели вертикального (ДВП), горизонтального (ДГП) и кругового (ДКП) перемещений для установки четырехзондовой головки и подвижной части столика прибора в исходное положение. Исследуемые образцы монокристаллического кремния круглой формы зажимаются фиксаторами так, что их центр совпадает с центром четырехзондовой головки. Далее выполняется автоматическая калибровка прибора. Для этого по команде управляющей программы четырехзондовая головка отключается от источника тока и измерительного усилителя. Вместо нее подключается ее аналоговый эквивалент, через который пропускается ток заданной величины и измеряется падение напряжения на нем при чередовании полярности тока. После процесса калибровки к входам источника тока и измерительного усилителя вместо аналогового эквивалента автоматически подключается четырехзондовая головка. Далее манипулятор вертикального перемещения плавно опускает эту головку на измеряемый образец до соприкосновения зондов с поверхностью образца. В зависимости от выбранного режима измерений автоматически выполняется измерение УЭС и температуры образца и учитывается температурный поправочный коэффициент согласно стандарту SEMI MF84.

Управляющая программа позволяет определить УЭС в любой точке трехмерного изображения поверхности пластины при наведении на нее курсора, а также анализировать распределение УЭС по сечению поверхности, проходящему через ее центр (рис. 2).

Технические характеристики. Габаритные размеры прибора «Рометр» 560 × 320 × 410 мм. Вес – не более 25 кг. Диапазон измерения удельного электрического сопротивления составляет от 0,001 до 10 000 Ом · см. Пределы допускаемой основной относительной погрешности среднего арифметического из 10 измерений: для УЭС в диапазоне 0,001...0,01 Ом · см – не более ±3 %; для УЭС в диапазоне 0,011...10 000 Ом · см – не более ±2 %. Размер измеряемых образцов монокристаллического кремния: диаметр – от 10 до 200 мм, толщина – от 0,1 до 30 мм.

Таким образом, разработанный автоматизированный измеритель УЭС пластин и слитков монокристаллического кремния по своим техническим характеристикам не уступает лучшим зарубежным аналогам. Определенные по результатам сертификационных испытаний пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений не превышают значений, приведенных в ГОСТ 19658–81 и стандартах SEMI MF84, MF81, MF1527.

Прибор прошел сертификацию, в соответствии с которой утверждён тип измерителей удельного электросопротивления кремния «Рометр», зарегистрированный в Государственном реестре средств измерений, и допущен к применению в Российской Федерации.

Библиографический список

1. ГОСТ 19658–81. Кремний монокристаллический в слитках. М. : Изд-во стандартов, 1990.

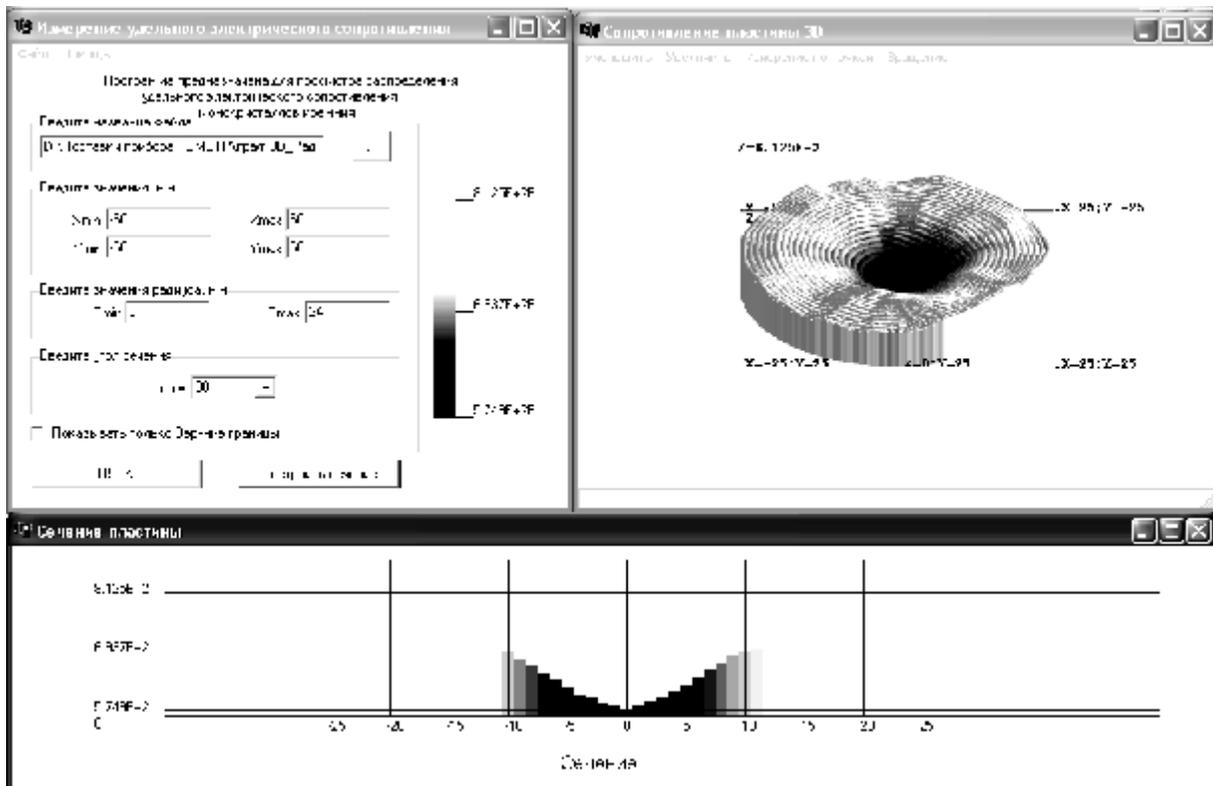


Рис. 2. Результаты измерений карты сопротивлений пластины монокристаллического кремния, выращенного по методу Чохральского

V. M. Vladimirov, E. F. Grinin, M. E. Sergiy, V. N. Shepov

AUTOMATIC DEVICE FOR MEASURING RESISTIVITY OF SILICON FOUR-POINT PROBE METHOD

An automatic device for measuring the resistivity of single-crystalline silicon by means of the four-point probe method had been developed.

Keywords: automatic device, single-crystalline silicon, resistivity, four-point probe method.

© Владимирова В. М., Гринин Э. Ф., Сергий М. Е., Шепов В. Н., 2009

УДК 519.622

А. Е. Новиков, Е. А. Новиков

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛА ЦЕЗИЯ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ L-УСТОЙЧИВЫМ МЕТОДОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА ТОЧНОСТИ*

Описан алгоритм формирования правой части и матрицы Якоби дифференциальных уравнений химической кинетики. Численное моделирование цикла цезия в верхней атмосфере проведено посредством L-устойчивого метода второго порядка с контролем точности вычислений. Приведены результаты расчетов.

Ключевые слова: химическая кинетика, цикл цезия, жесткая задача, L-устойчивый метод, контроль точности.

Моделирование кинетики химических реакций применяется при исследовании разнообразных химических процессов. Особое внимание при этом уделяется изучению временных зависимостей концентраций реагентов, которые являются решением задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Трудности решения таких задач связаны с жесткостью и большой размерностью.

Современные методы решения жестких задач используют обращение матрицы Якоби системы уравнений. В случае большой размерности исходной задачи декомпозиция такой матрицы практически полностью определяет общие вычислительные затраты. Для повышения эффективности расчетов в ряде алгоритмов используется замораживание матрицы Якоби, т. е. применение одной матрицы на нескольких шагах интегрирования [1; 2]. Наиболее успешно этот подход применяется в алгоритмах на основе многошаговых методов и, в частности, в формулах дифференцирования назад [3]. Однако использование данного подхода в алгоритмах интегрирования на основе известных безытерационных методов, к которым относятся методы типа Розенброка и их различные модификации, связано с определенными трудностями [1]. Ниже будет приведен алгоритм формирования правой части и матрицы Якоби дифференциальных уравнений химической кинетики, а также результаты численного моделирования ионизационно-деионизационного цикла цезия в верхней атмосфере L-устойчивым методом второго порядка точности, в ко-

тором допускается замораживание как численной, так и аналитической матрицы Якоби.

Кинетическая схема химической реакции состоит из элементарных стадий, записываемых в виде [4]



где x_i , $1 \leq i \leq N_r$ – реагенты; k_j , $1 \leq j \leq N_s$ – константы скоростей стадий; N_r и N_s – число реагентов и число стадий в реакции соответственно; α_{ij} и β_{ij} , $1 \leq i \leq N_r$, $1 \leq j \leq N_s$ – стехиометрические коэффициенты.

Процессу (1) в рамках сосредоточенной модели изотермического реактора постоянного объема соответствует система обыкновенных дифференциальных уравнений

$$C' = A^T V \quad (2)$$

с заданным начальным условием $C(0) = C_0$. Здесь A^T – стехиометрическая матрица, C и V – векторы концентраций реагентов и скоростей стадий соответственно. В случае протекания реакции в неизотермических условиях к системе (2) добавляется уравнение теплового баланса

$$T' = [Q^T V - \alpha(T - T_{01})]/C_V^T C, \quad (3)$$

где T – температура смеси в реакторе; T_{01} – температура стенок реактора; Q^T – вектор удельных теплот стадий; C_V^T – вектор теплоемкостей реагентов; $\alpha = \alpha s/r$, здесь α – коэффициент теплоотдачи; s и r – площадь поверхности и объем реактора соответственно. Верхний индекс T у векторов Q^T и C_V^T означает транспонирование. Теплоемкости реагентов и коэффициент теплоотдачи могут быть

* Работа поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований № 08-01-00621 и Президента НШ-3431.2008.9

функциями концентраций реагентов, а коэффициент α может зависеть еще и от температуры.

Если реакция протекает в изотермическом реакторе постоянного объема с обменом вещества (открытая система, реактор идеального смешения), то система дифференциальных уравнений (2) записывается в виде

$$C' = AV^T + \frac{1}{\Theta}(C_p - C), \quad (4)$$

где C_p – вектор концентраций реагентов на входе; Θ – время пребывания смеси в реакторе, $\Theta = r/u$, здесь u – объемная скорость течения смеси через реактор. При протекании реакции в неизотермических условиях система (4) дополняется уравнением теплового баланса

$$T' = [Q^T V - \alpha(T - T_{01})]/C_V^T C - \frac{1}{\Theta}(T - T_{02}), \quad (5)$$

где T_{02} – температура смеси на входе в реактор. Температура реагирующей смеси может задаваться в виде функции времени и концентраций: $T = T(t, C)$.

Если стадия обратима, то за скорость стадии W_s принимается разность скоростей прямого W_s^+ и обратного W_s^- процессов:

$$W_s = W_s^+ + W_s^-, \quad 1 \leq s \leq N_s.$$

Если в стадии участвует третья частица, то тогда скорость вычисляется по формуле

$$W_s = P_s W_s, \quad P_s = \sum_{i=1}^{N_r+N_m} \varepsilon_{si} c_i,$$

где ε_{si} , $1 \leq i \leq N_r$ – эффективности третьих частиц; N_{in} , ε_{si} и c_i , $N_r + 1 \leq i \leq N_r + N_m$ – количество, эффективности и концентрации инертных веществ соответственно. Значения компонент вектора W_s определяются из схемы химической реакции (1) по соотношениям

$$W_s^+ = k_s \prod_{i=1}^{N_r+N_m} c_i^{\alpha_{si}}, \quad W_s^- = k_{-s} \prod_{i=1}^{N_r+N_m} c_i^{\beta_{si}},$$

где k_s и k_{-s} , $1 \leq s \leq N_s$ – константы скоростей прямой и обратной стадий соответственно, вычисляемые по формуле

$$k_j = A_j T^{n_j} \exp(-E_j/RT),$$

здесь T – температура смеси в реакторе, A_j , n_j и E_j/R – заданные постоянные. Непосредственное использование этой формулы может приводить к неверному результату или переполнению арифметического устройства вследствие большого разброса данных постоянных [5; 6]. Поэтому для вычисления констант скоростей стадий используется следующее соотношение:

$$k_j = \exp(\ln A_j + n_j \ln T - E_j/RT).$$

Стехиометрическая матрица A^T с элементами α_{ij} формируется из кинетической схемы (1) по следующему правилу: номер стадии совпадает с номером столбца, а номер реагента – с номером строки матрицы A^T . Если x_i выступает как исходный реагент, то $\alpha_{ij} = -\alpha_{ij}$; если x_i – продукт, то $\alpha_{ij} = \beta_{ij}$; если же x_i является одновременно исходным реагентом и продуктом, то $\alpha_{ij} = \beta_{ij} - \alpha_{ij}$.

Обычно в элементарной стадии участвует небольшое количество реагентов, т. е. стехиометрическая матрица сильно разрежена. Тогда для системы (2) j -й столбец b_j матрицы Якоби определяется по формуле

$$b_j = A^T \frac{\partial V}{\partial c_j}, \quad 1 \leq j \leq N_r. \quad (6)$$

В случае совместного решения системы (2), (3) полученная матрица дополняется строкой $b_{Nr+1,j}$ столбцом $b_{i,Nr+1}$ и угловым элементом $b_{Nr+1,Nr+1}$, которые определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} b_{Nr+1,i} &= \{Q^T \frac{\partial V}{\partial c_i} - \frac{\partial \alpha}{\partial c_i}(T - T_{01}) + \\ &+ [\alpha(T - T_{01}) - Q^T V] c_{vi} / C_V^T C\} / C_V^T C, \\ b_{i,Nr+1} &= (A \frac{\partial V}{\partial T})_i, \quad 1 \leq i \leq N_r, \\ b_{Nr+1,Nr+1} &= [Q^T \frac{\partial V}{\partial T} - \frac{\partial \alpha}{\partial T}(T - T_{01}) - \alpha] / C_V^T C - \\ &- [Q^T V - \alpha(T - T_{01})] (\frac{\partial C_V^T}{\partial T} C) / (C_V^T C)^2. \end{aligned}$$

Для реактора с протоком диагональные элементы полученной матрицы подправляются с учетом добавки $1/\Theta$.

Нетрудно видеть, что компоненты вектора $\partial V/\partial c_i$ имеют вид

$$\begin{aligned} \partial v_s / \partial c_i &= \alpha_{si} p_s k_s c_i^{\alpha_{si}-1} \prod_{k=1, k \neq i}^{N_r+N_m} c_i^{\alpha_{sk}} - \\ &- \beta_{si} p_s k_{-s} c_i^{\beta_{si}-1} \prod_{k=1, k \neq i}^{N_r+N_m} c_i^{\beta_{sk}} - \varepsilon_{si} (W_s^+ - W_s^-), \end{aligned} \quad (7)$$

а для определения компонент вектора $\partial V/\partial T$ используются следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \partial v_s / \partial T &= p_s \frac{\partial k_s}{\partial T} \prod_{i=1}^{N_r+N_m} c_i^{\alpha_{si}} - \\ &- p_s \frac{\partial k_{-s}}{\partial T} \prod_{i=1}^{N_r+N_m} c_i^{\beta_{si}}, \quad 1 \leq s \leq N_s. \end{aligned}$$

Если в s -й стадии отсутствует третья частица, то в выражениях для $\partial v_s/\partial c_i$ и $\partial v_s/\partial T$ нужно положить $p_s = 1$ и $\varepsilon_{si} = 0$.

Использование (6) для определения элементов b_{ij} , $1 \leq i, j \leq N_r$, матрицы Якоби позволяет применять формулу

$$b_{ij} = \sum_{s=1}^{N_s} a_{js} \frac{\partial v_s}{\partial c_i}, \quad 1 \leq i, j \leq N_r.$$

Рассмотрим отдельное слагаемое (7), т. е.

$$\begin{aligned} \alpha_{js} p_s k_s \alpha_{si} c_i^{\alpha_{si}-1} \prod_{k=1, k \neq i}^{N_r+N_m} c_i^{\alpha_{sk}} - \\ - \alpha_{js} p_s k_{-s} \beta_{si} c_i^{\beta_{si}-1} \prod_{k=1, k \neq i}^{N_r+N_m} c_i^{\beta_{sk}} + a_{js} \varepsilon_{si} (W_s^+ - W_s^-). \end{aligned}$$

Для определения данного выражения требуется выполнить три шага:

– на первом шаге формируется выражение $a_{js} p_s k_s \alpha_{si}$ и $a_{js} p_s k_{-s} \beta_{si}$, при этом предполагается, что соотношения $p_s k_s$ или $p_s k_{-s}$ вычислены;

– на втором шаге определяются соотношения

$$c_i^{\alpha_{si}-1} \prod_{k=1, k \neq i}^{N_r+N_m} c_i^{\alpha_{sk}}, \quad c_i^{\beta_{si}-1} \prod_{k=1, k \neq i}^{N_r+N_m} c_i^{\beta_{sk}};$$

– в случае присутствия в схеме реакции третьих частиц на третьем шаге задается выражение $a_{js} \varepsilon_{si} (W_s^+ - W_s^-)$.

Опишем численный метод, который применялся для численного моделирования ионизационно-деионизаци-

онного цикла цезия в верхней атмосфере. Для численного решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$y' = f(t, y), \quad y(t_0) = y_0, \quad t_0 \leq t \leq t_k, \quad (8)$$

где y и f – вещественные N -мерные векторы-функции; t – независимая переменная, рассмотрим (m, k) -метод вида [7]

$$y_{n+1} = y_n + ak_1 + (1-a)k_2, \quad a = 1 - \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad (9)$$

$$D_n k_1 = h_n f(t_n + \beta h, y_n), \quad D_n k_2 = k_1,$$

где k_1 и k_2 – стадии метода; $D_n = E - ah_n A_n$; E – единичная матрица; h_n – шаг интегрирования; A_n – некоторая матрица, представленная в виде $A_n = f''_n + hB_n + O(h^2)$; $f''_n = \partial^2 f(y_n) / \partial y^2$ – матрица Якоби системы (8); B_n – не зависящая от шага интегрирования матрица. Метод (9) можно применять с замораживанием как численной, так и аналитической матрицы Якоби.

Используя разложения стадий в ряды Тейлора, локальную ошибку δ_n метода (9) запишем в виде

$$\delta_n = (a-1/3)h^3 f''_y f + h^3 \left[\frac{1}{24} f''_{yy} + \frac{1}{6} f''_{yy} f^2 + \frac{1}{3} f''_{yy} f - \frac{1}{2} f''_y f'_t - \frac{1}{2} B_n f \right] + O(h^4).$$

Тогда согласно [8] для контроля точности (9) используем оценку ошибки вида

$$\varepsilon_n = (a - \frac{1}{3})h^2 f''_y f + O(h^3).$$

Учитывая, что

$$k_2 - k_1 = ah^2 f''_{y,n} f_n + O(h^3),$$

величину ε_n с точностью до членов $O(h^3)$ оценим по формуле

$$\varepsilon_n = a^{-1} (a - \frac{1}{3}) [k_2 - k_1].$$

В результате для контроля точности метода (9) можно применять неравенство

$$\varepsilon(j_n) = \| D_n^{1-j_n} (k_2 - k_1) \| \leq \frac{a\varepsilon}{1/3 - a},$$

где ε – требуемая точность интегрирования; $\| \cdot \|$ – некоторая норма в R^N ; значение параметра j_n , $1 \leq j_n \leq 2$, выбирается наименьшим, при котором выполняется данное неравенство. В конкретных расчетах норма $\| \cdot \|$ в этом неравенстве определяется по формуле

$$\| D_n^{1-j_n} (k_2 - k_1) \| = \max_{1 \leq i \leq N} \frac{| [D_n^{1-j_n} (k_2 - k_1)]_i |}{| y_n^i | + tr},$$

где i – номер компоненты приближенного решения; tr – положительный параметр. Если по i -й компоненте решения выполняется неравенство $|y_n^i| < tr$, то контролируется абсолютная ошибка $tr \cdot \varepsilon$, в противном случае – относительная ошибка ε . В расчетах параметр tr должен выбираться так, чтобы по всем компонентам решения фактическая точность была не хуже задаваемой.

При численном вычислении матрицы Якоби шаг численного дифференцирования r_j , $1 \leq j \leq N$, выбирается по формуле $r_j = \max(10^{-14}, 10^{-7}|y_j|)$. Решение жестких задач

обычно осуществляется с двойной точностью в силу плохой обусловленности матрицы Якоби системы (9). Константа 10^{-7} введена в формулу определения шага численного дифференцирования с целью его выдвигания на середину разрядной сетки. Теперь j -й столбец a_n^j матрицы A_n в формуле (9) вычисляется следующим образом:

$$a_n^j = \frac{f(y_1, \dots, y_j + r_j, \dots, y_N) - f(y_1, \dots, y_j, \dots, y_N)}{r_j},$$

т. е. для определения матрицы A_n требуется N вычислений правой части задачи (8).

Попытка использования прежней матрицы D_n осуществляется после каждого успешного шага интегрирования. Для того чтобы не ухудшить свойства устойчивости численной схемы, при замораживании матрицы D_n величина шага интегрирования тоже остается постоянной. Размораживание матрицы происходит в следующих случаях:

- когда нарушена точность расчетов;
- число шагов с замороженной матрицей достигло заданного максимального числа I_h ;
- прогнозируемый шаг больше последнего успешного в Q_h раз;
- $\varepsilon(1) > \varepsilon(2)$.

Числа I_h и Q_h могут влиять на перераспределение вычислительных затрат. При $I_h = 0$ и $Q_h = 0$ замораживания матрицы не происходит; при увеличении I_h и Q_h число вычислений правой части задачи (8) возрастает, а количество обращений матрицы Якоби убывает. Эффективность алгоритма интегрирования также зависит от I_h и Q_h , которые выбираются исходя из отношения стоимости вычисления функции f к стоимости декомпозиции матрицы Якоби и позволяют настраивать алгоритм на конкретный тип задач.

Теперь рассмотрим модель ионизационно-деионизационного цикла цезия в верхней атмосфере. Эта модель извлечена из большой кинетической схемы и широко используется в зарубежной литературе как типичный пример жестких систем кинетики [9]. Схема реакции имеет вид

- 1) $O_2^- + C_s^+ \rightarrow C_s + O_2$
- 2) $C_s^+ + e \rightarrow C_s$
- 3) $C_s \rightarrow C_s^+ + e$
- 4) $O_2 + C_s + M \rightarrow C_s O_2 + M$
- 5) $O_2 + e + M \rightarrow O_2^- + M$
- 6) $O_2^- \rightarrow O_2 + e$

где константы скоростей стадий имеют вид $k_1 = 3,0 \cdot 10^{10}$, $k_2 = 6,0 \cdot 10^5$, $k_3 = 3,24 \cdot 10^{-3}$, $k_4 = 3,63 \cdot 10^4$, $k_5 = 3,63 \cdot 10^4$, $k_6 = 4,0 \cdot 10^{-1}$. Реакция протекает с участием инертного вещества N_2 , причем концентрация $[N_2] = 3,32 \cdot 10^{-3}$. Эффективности третьих тел для всех реагентов равны 1, кроме эффективности O_2 в пятой стадии, которая равна 12,4. Обозначим концентрации реагентов следующим образом:

$$c_1 = [e], \quad c_2 = [O_2^-], \quad c_3 = [C_s],$$

$$c_4 = [C_s O_2], \quad c_5 = [C_s^+], \quad c_6 = [O_2].$$

Соответствующая система состоит из шести дифференциальных уравнений вида

$$c_1' = -k_2 c_1 c_5 + k_3 c_3 - k_5 p_2 c_1 c_6 + k_6 c_2,$$

$$\begin{aligned} c_2' &= -k_1 c_2 c_5 + k_3 p_2 c_1 c_6 - k_6 c_2, \\ c_3' &= k_1 c_2 c_5 + k_2 c_1 c_5 - k_3 c_3 - k_4 p_1 c_3 c_6, \\ c_4' &= k_4 p_1 c_3 c_6, \\ c_5' &= -k_1 c_2 c_5 - k_2 c_1 c_5 + k_3 c_3, \\ c_6' &= k_1 c_2 c_5 - k_4 p_1 c_3 c_6 - k_3 p_2 c_1 c_6 + k_6 c_2, \end{aligned} \quad (10)$$

где $p_1 = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + c_6 + [N_2]$; $p_2 = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 + 12,4c_6 + [N_2]$.

Интегрирование осуществляется на промежутке $[0, 1000]$ с начальным шагом 10^{-5} при следующих начальных концентрациях реагентов:

$$\begin{aligned} c_1 &= [e] = 1,66 \cdot 10^{-16}, \\ c_2 &= [O_2^-] = 8,63 \cdot 10^{-16}, \\ c_3 &= [C_s] = 1,66 \cdot 10^{-6}, \\ c_4 &= [C_s O_2] = 0,0, \\ c_5 &= [C_s^+] = 1,03 \cdot 10^{-15}, \\ c_6 &= [O_2] = 5,98 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

Сравнение эффективности построенного алгоритма с известным методом Гира dlsode в реализации А. Хиндмарша [10] при точности расчетов $\varepsilon = 10^{-2}$ показывает невысокую точность расчетов, которая связана с тем, что метод (9) имеет второй порядок точности и поэтому проводить с его помощью высокоточные расчеты нецелесообразно. В качестве критерия эффективности выбраны if – число вычислений правой части – и ij – количество декомпозиций матрицы Якоби задачи (10) на интервале интегрирования. Построенному алгоритму для решения задачи (10) потребовалось 101 вычисление правой части и 14 декомпозиций матрицы Якоби. В методе dlsode требуемая точность 10^{-2} достигается при $\varepsilon = 10^{-3}$ с вычислительными затратами $if = 192$ и $ij = 22$.

Таким образом, построенный алгоритм имеет преимущество по числу вычислений правой части почти в два раза и по числу декомпозиций матрицы Якоби – при-

мерно в полтора раза. Наиболее эффективное применение данного алгоритма интегрирования предполагается на жестких задачах при точности расчетов $\varepsilon = 10^{-2}$ (порядка 1 %) и ниже.

Библиографический список

1. Хайрер, Э. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи / Э. Хайрер, Г. Ваннер. М. : Мир, 1999.
2. Новиков, Е. А. Явные методы для жестких систем / Е. А. Новиков. Новосибирск : Всерос. об-ние «Наука», 1997.
3. Byrne, G. D. ODE solvers: a review of current and coming attractions / G. D. Byrne, A. C. Hindmarsh // J. of Comput. Physics. 1987. № 70. P. 1–62.
4. Эммануэль, Н. М. Курс химической кинетики / Н. М. Эммануэль, Д. Г. Кнорре. М. : Высш. шк., 1974.
5. Babushok, V. I. Numerical solution of direct kinetic problems / V. I. Babushok, E. A. Novikov // React. Kinet. Catal. Lett. 1982. Vol. 21, № 1–2. P. 121–124.
6. Бабушок, В. И. Генератор правой части и матрицы Якоби дифференциальных уравнений химической кинетики : препр. № 359 / В. И. Бабушок, Е. А. Новиков ; ВЦ Сиб. отд-ния АН СССР. Новосибирск, 1982.
7. Новиков, Е. А. (2, 1)-метод решения жестких неавтономных задач / Е. А. Новиков // Системы управления и информационные технологии. 2008. № 2 (32). С. 12–15.
8. Новиков, Е. А. Некоторые методы решения жестких систем, индуцированные одним и двумя вычислениями правой части / Е. А. Новиков, Ю. А. Шитов // Математические модели и методы решения задач механики сплошной среды. Красноярск, 1986. С. 11–19.
9. Edelson, D. The new book in chemical kinetics / D. Edelson // J. Chem. Ed. 1975. Vol. 52. P. 642–643.
10. Brown, P. N. Reduced Storage Matrix Methods in Stiff ODE Systems / P. N. Brown, A. C. Hindmarsh // J. Appl. Math. & Comp. 1989. Vol. 31. P. 40–91.

A. E. Novikov, E. A. Novikov

NUMERICAL SIMULATION OF THE CESIUM CYCLE IN THE UPPER ATMOSPHERE BY MEANS OF L-STABLE METHOD OF THE SECOND ORDER OF ACCURACY

An algorithm of right-hand side and Jacobian formation of differential equations of chemical kinetics is described. Numerical simulation of the cesium cycle in the upper atmosphere is conducted by means of the L-stable method of the second order of accuracy with the control accuracy. The results of the computation are presented.

Keywords: chemical kinetics, cycle of cesium, stiff problem, L-stability method, control accuracy.

© Новиков А. Е., Новиков Е. А., 2009

АКТИВНЫЙ МЕТАМАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ НЭМС-СТРУКТУР*

Рассмотрен метод получения плотно упакованных наноэлектромеханических систем (НЭМС), основанный на оригинальной комбинации процессов самоорганизации и самосовмещения. Обсуждены функциональность НЭМС-структур, возможные области применения наноматериала, образованного двумерным массивом данных структур. Приведены результаты предварительных экспериментов, реализующих предлагаемую НЭМС-технологию.

Ключевые слова: наноэлектромеханические системы (НЭМС), углеродные нанотрубки, НЭМС-сенсоры, активные наномембраны, активный наноматериал.

Исторически первые функциональные структуры, применяемые человеком для манипулирования веществом и информацией, были механическими – от каменного топора до печатных станков и арифмометров. С изобретением во второй половине XX в. транзистора в оперировании информацией произошел переход к системам, полностью основанным на электронном принципе действия. Это открыло путь к грандиозному увеличению эффективности обработки информации. Однако интересен, а на самом деле – вполне закономерен тот факт, что на новом уровне миниатюризации механика не только не потеряла своей актуальности, но именно на ее основе может быть осуществлен следующий прорыв, причем как в манипулировании информацией (участие в данном процессе вещества и энергии – вынужденная необходимость), так и в манипулировании веществом (участие вещества и энергии есть содержательная часть этого процесса). Особо перспективным направлением является объединение электрической и механической основ работы в рамках единой электромеханической структуры. Однако в настоящее время внедрение интегральных электромеханических систем сдерживается ограничениями, накладываемыми прежде всего существующей технологией производства, в основе которой лежит традиционный метод, заимствованный у кремниевой электроники, – метод фотолитографии. И хотя в ряде проектов [1; 2] используются методики жертвенного слоя и внесение в структуру объектов самоорганизации, что позволяет размерам отдельных элементов в составе функциональных структур выйти за пределы разрешающей способности фотолитографии, однако общая степень интеграции таких структур остается жестко связанной с техническими характеристиками последней. В итоге инновационных продуктов, основанных на наноэлектромеханических системах (НЭМС), на сегодняшний день пока не предложено.

Интегральные НЭМС-структуры и способ их получения. Рассмотрим основные особенности технологии получения плотно упакованных НЭМС-структур. Первичным процессом, задающим геометрию структуры, является процесс роста массива вертикальных углеродных нанотрубок. Данный процесс относится к процессам самоорганизации, в силу чего получаемые на его выходе углеродные нанотрубки характеризуются высокой степенью структурного совершенства, а их диаметр может

достигать 0,7 нм. Столь малые объекты, обладающие совершенной структурой, могут быть получены только в рамках методов самоорганизации (методов «снизу-вверх»), вне зависимости от возможных перспектив развития методов литографии (методов «сверху-вниз»).

Получение массива касающихся друг друга вертикальных углеродных нанотрубок является классическим приложением метода осаждения из газовой фазы для роста углеродных нанотрубок. Однако для создания массива НЭМС-структур необходим массив разрозненных вертикальных углеродных нанотрубок, разделенных достаточно протяженными зазорами. Для обеспечения разделения нанотрубок зазорами и их механического закрепления в вертикальном положении предполагается использовать рост углеродных нанотрубок на каталитических частицах, внедренных в поры подложки из оксида алюминия или титана, при этом вертикальные стенки пор задают направление роста нанотрубок (отметим, что для внедрения катализатора в поры была разработана оригинальная методика никелевого золь-гель-катализатора). Далее на подложке с массивом вертикальных углеродных нанотрубок производится формирование трех функциональных слоев: слоя металла (входной электрод), слоя аморфного углерода (выходной или управляющий электрод) и разделяющего их диэлектрического слоя. На следующем этапе задействуются физические механизмы, обеспечивающие трансляцию геометрии каждой выращенной углеродной нанотрубки на управляющий электрод. Для этого впервые предложен и реализован метод самосовмещения, основанный на локальном анодном окислении (ЛАО) управляющего электрода посредством углеродной нанотрубки.

Одним из наиболее известных технологических приложений сканирующей атомно-силовой микроскопии является модификация свойств проводящей подложки посредством процесса окисления, индуцируемого при помощи зонда атомно-силового микроскопа [3]. В силу того что реакция окисления опосредована зондом, она носит локальный характер. При этом достигается высокое пространственное разрешение, которое определяется геометрическими характеристиками зонда атомно-силового микроскопа, а именно – эффективным радиусом его закругления. Поскольку к зонду атомно-силового микроскопа прикладывается отрицательный полюс напряжения

* Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

смещения (катод), а к обрабатываемой подложке – положительный полюс (анод), то данный процесс является анодным окислением.

Несмотря на то что метод ЛАО демонстрирует высокое пространственное разрешение, превосходящее этот показатель для фотолитографии, данный метод следует отнести скорее к технике эксперимента, чем к технологии, поскольку в его основе лежит принцип последовательной обработки, который предполагает рост затрат времени пропорционально количеству формируемых элементов. Данное обстоятельство является главным ограничением технологических возможностей сканирующей зондовой микроскопии как таковой.

Покажем, как можно совместить функцию инструмента литографии (в данном случае – функцию зонда, инициирующего ЛАО) и функцию управляемого элемента формируемой НЭМС-структуры. Для этого каждую углеродную нанотрубку выращенного на подложке массива следует рассматривать в качестве стационарного аналога зонда атомно-силового микроскопа. Сформировав слой проводящего материала так, чтобы он контактировал с такой нанотрубкой (в рассматриваемом нами случае это слой управляющего электрода) и подав между ним и нанотрубкой напряжение смещения соответствующей полярности, можно инициировать окисление данного слоя в локализованной относительно нанотрубки области. При этом если продукты окисления относятся к летучим соединениям, то для получения зазора между нанотрубкой и проводящим слоем не требуется проведения дополнительных операций.

В качестве примера материала проводящего слоя, удовлетворяющего данному условию, может рассматриваться аморфный углерод. В процессе анодного окисления углеродная нанотрубка играет роль катода и остается стабильной, в то время как слой аморфного углерода играет роль анода и окисляется в граничной с нанотрубкой области с образованием CO_2 . Получаемые на выходе этого процесса структуры представляют собой массив разрозненных вертикальных углеродных нанотрубок, пронизывающих слой управляющего электрода и отделенных от него коаксиальными цилиндрическими зазорами (рис. 1).

Следует отметить, что нанотрубки, показанные на рис. 1, б, получены на учебно-исследовательской установке CVDompa в условиях, по степени чистоты близких к бытовым, в силу чего их структура характеризуется существенной дефектностью. Однако данный пример показывает, что даже в таких экстремально грязных с точки зрения традиционной микроэлектроники условиях организируются целостные проводники диаметром 15...20 нм, что превосходит возможности фотолитографии. В более чистых условиях могут быть получены углеродные нанотрубки высокой степени структурного совершенства.

Интересные возможности открываются, если в качестве материала управляющего электрода использовать химически инертный металл (например, золото), а в качестве управляемого элемента – многослойную углеродную нанотрубку. В этом случае замена полярности приложенного напряжения смещения на обратную позволит инициировать анодное окисление уже не управляющего электрода, а как минимум одного внешнего слоя

самой нанотрубки. Это приводит к удалению внешних слоев многослойной нанотрубки. Минимальная величина полученного таким образом зазора, отделяющего нанотрубку от золотого электрода, будет строго соответствовать межслойному расстоянию в углеродной нанотрубке, равному 0,33 нм. Данную величину можно рассматривать как предельное значение разрешающей способности предлагаемого метода самосовмещения управляющего электрода. Помимо малой ширины, такой зазор будет характеризоваться и совершенной структурой.

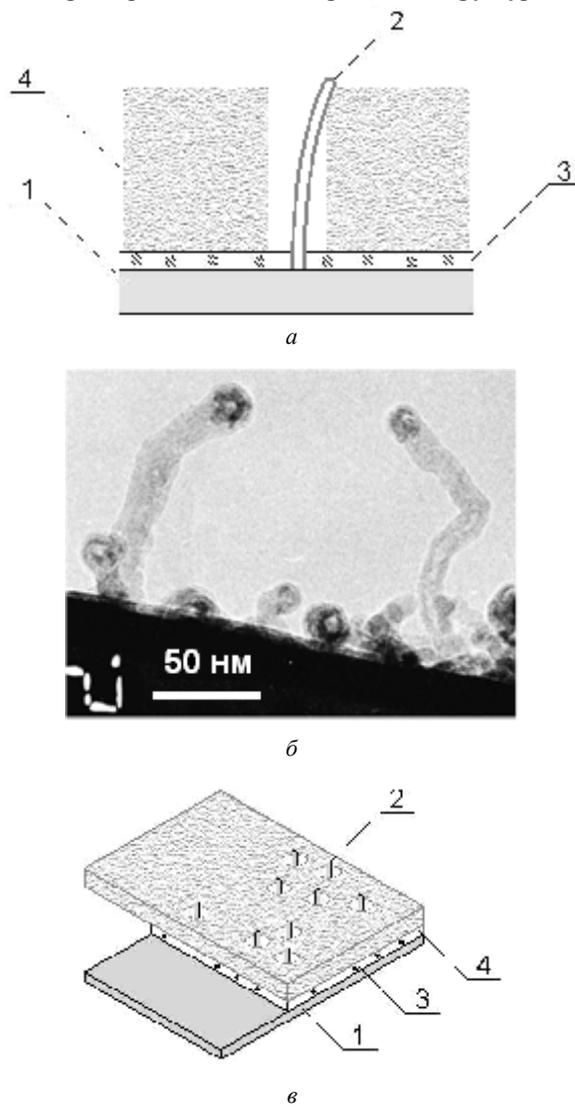


Рис. 1. Схематическое изображение НЭМС-структуры в одном из бистабильных состояний (а), промежуточный шаг формирования НЭМС-структуры (ПЭМ-изображение) (б) и схематическое изображение фрагмента массива интегральных НЭМС-структур (в): 1 – входной электрод; 2 – углеродные нанотрубки; 3 – диэлектрический слой; 4 – слой аморфного углерода

В результате проведения соответствующих экспериментов, осуществленных автором средствами атомно-силовой микроскопии, также было доказано, что многослойные углеродные нанотрубки склонны окисляться дискретно, по слоям, что объясняется кардинальным различием термодинамической устойчивости целого и нарушенного слоев.

В общем случае вместо углеродных нанотрубок в рамках рассматриваемого метода формирования интегральных НЭМС-структур могут использоваться другие одномерные объекты самоорганизации, например нанопроволоки.

Механизм функционирования НЭМС-структур. Углеродная нанотрубка и управляющий электрод в каждой структуре составляют два коаксиальных независимых электрода, отделенных нанометровым или субнанометровым зазором, в результате взаимодействия которых создается электрическое поле в малых пространственных областях. В силу предельной малости данных областей, напряженность получаемого электрического поля может варьироваться в широчайших пределах и достигать величин, сравнимых с внутриаомными (что актуально для рассматриваемых ниже НЭМС-реакторов и НЭМС-наномембран). А поскольку углеродная нанотрубка отделена от управляющего электрода зазором, то она может свободно совершать механическое движение, в том числе колебания на собственных частотах. С нанотрубкой электрически соединен входной электрод. Приложение напряжения смещения между входным и управляющим электродом оказывает на нанотрубку воздействие посредством силы Кулона. При определенном значении этого напряжения упругая деформация нанотрубки обеспечивает ее переход в состояние механического и, следовательно, электрического контакта с поверхностью управляющего электрода (рис. 1, а). В таком состоянии нанотрубка обеспечивает электронный транспорт между входным и управляющим электродами. При достаточно малых значениях ширины разделяющего зазора сила упругой деформации нанотрубки, стремящаяся вернуть ее в исходное вертикальное состояние, уступает по величине силе Ван-дер-Ваальса, действующей в пятне контакта нанотрубки и управляющего электрода, что обеспечивает стабильность данного состояния системы. Для возврата нанотрубки в свободное состояние необходимо приложить одноименный потенциал к входному и управляющему электродам так, чтобы отталкивающая сила Кулона в сумме с силой упругости превысила силу Ван-дер-Ваальса. Таким образом, описываемая НЭМС-структура может находиться в двух стабильных состояниях.

Приложение переменного напряжения смещения между нанотрубкой и управляющим электродом позволяет обеспечить возбуждение механических колебаний углеродной нанотрубки. При совпадении частоты приложенного напряжения с собственной частотой нанотрубки колебания последней переходят в резонансный режим и их амплитуда резко увеличивается. Это приводит к соприкосновению нанотрубки с выходным электродом. В результате действия в пятне контакта сил Ван-дер-Ваальса нанотрубка фиксируется в состоянии механического контакта с управляющим электродом. В этом состоянии нанотрубка обеспечивает электронный транспорт между входным и управляющим электродами, что может быть зафиксировано средствами измерения электрического тока. Для возврата нанотрубки в свободное состояние необходимо приложить одноименный потенциал к входному и управляющему электродам.

Описанный выше механизм обеспечивает простой способ измерения частоты резонансных колебаний на-

нотрубки. В отличие от известных способов, которые основаны, например, на измерении модуляции электрической емкости системы «нанотрубка – пространственно отделенный электрод», модуляции сопротивления или плотности носителей зарядов нанотрубки, этот способ не требует анализа высокочастотного электрического сигнала и сводится к детектированию события возникновения короткого замыкания в цепи «входной электрод – управляющий электрод». Это упрощает техническую реализацию способа и снижает требования к величинам паразитных емкостей системы.

Конечные приложения метода формирования интегральных НЭМС-структур. Наличие дешевого группового метода формирования интегральных НЭМС-структур открывает возможности для создания устройств принципиально нового типа – активных наномембран. В них каждая пора представляет собой НЭМС-структуру, при этом для получения сквозных пор требуется ряд дополнительных операций, в частности частичное удаление диэлектрического слоя посредством травления. Это, с одной стороны, повышает уровень контроля геометрии пор (минимальный размер поры – 0,33 нм; разброс размеров, в силу действующих при самоорганизации фундаментальных ограничений, близок к нулю), а с другой – обеспечивает следующие принципиально новые возможности по манипулированию обрабатываемым веществом, которые связаны с возможностью поддержания в каждой поре заданного электрического поля и варьирования *in situ* эффективной геометрии пор:

- механизм прецизионной настройки системы на целевые молекулы (это особенно важно для задачи разделения многокомпонентных сред с незначительными различиями размеров молекул, например для выделения кислорода из воздуха);
- новые механизмы селективности (когда к стерическому механизму разделения молекул добавляется кулоновский механизм, связанный с различием поляризуемости молекул);
- выход на нереализуемые в обычных условиях цепочки химических превращений (переход на мембранные или активные нанореакторы);
- кардинальное повышение устойчивости к загрязнению пор (возможен режим контролируемой самоочистки);
- применение эффектов резонансного механического транспорта и др.

Предлагаемые в данной статье НЭМС-структуры позволяют превзойти современный уровень техники также в области сенсоров благодаря следующим достоинствам:

- предельно высокой чувствительности (в условиях вакуума – вплоть до регистрации актов сорбции отдельных молекул);
- простые измерения резонансной частоты благодаря существенной роли сил Ван-дер-Ваальса на наномасштабе (этим НЭМС-сенсоры отличаются от традиционных МЭМС-сенсоров на основе кремниевой микробалки);
- целому ряду универсальных механизмов селективности (в частности, электрическому зондированию отдельных молекул или их групп);
- контроль за регенерацией сенсорной способности;

- малой стоимости;
- возможности интегрального исполнения и др.

Таким образом, мембранная и сенсорная функциональность НЭМС-материала создают предпосылки для выхода на новый уровень в распознавании и обработке многокомпонентных сред.

В перспективе на основе предлагаемой НЭМС-элементной базы может быть создана энергонезависимая память, претендующая на роль универсального типа памяти и обладающая сверхвысокой степенью интеграции, предельно малой стоимостью хранения одного бита информации, низкой плотностью межсоединений (используется дополнительная координата адресации в виде частоты резонансных колебаний нанотрубки), сверхвысокой радиационной стойкостью.

Описанный НЭМС-материал имеет приложения и в ряде других важных областей. В частности, он позволяет реализовать фотонные кристаллы с перестраиваемой зонной структурой, «умные» электромагнитные материалы и др.

Экспериментальные результаты. При участии автора была разработана экспериментальная технология роста углеродных нанотрубок на никелевом золь-гель-катализаторе (см. рис. 1, б). В настоящее время на стадии разработки находится технологический процесс роста вертикальных углеродных нанотрубок, закрепленных в порах оксида алюминия.

При участии автора также был реализован технологический процесс фотолитографии и напыления металлических слоев поверх планарных углеродных нанотрубок. Получены образцы интегральных структур, представляющих собой планарные углеродные нанотрубки, случайным образом распределенные между проводящими дорожками сформированной средствами фотолитографии матрицы [4]. В дальнейшем этот техпроцесс необходимо отработать для случая вертикальных углеродных нанотрубок.

Автором производились эксперименты по контролируемому локальному анодному окислению углеродных дорожек под воздействием неоднородного электрического поля, индуцированного углеродной нанотрубкой. В ходе этих экспериментов были получены первые результаты по реализации механизма самосовмещения управляемого элемента и управляющего электрода методом ЛАО (рис. 2). Эти результаты соответствуют интенсивному процессу окисления (с чем связана некоторая неоднородность зазора по ширине).

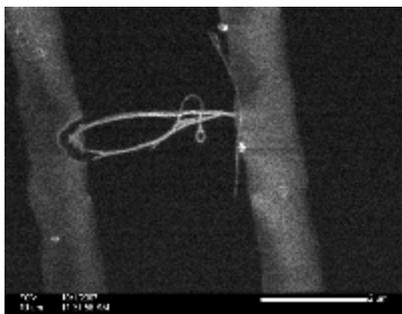


Рис. 2. Результат локального анодного окисления дорожки (слева) планарным пучком углеродных нанотрубок (ФИП-изображение); проводящие дорожки выполнены из аморфного углерода; ширина полученного эквидистантного зазора 100...120 нм

За счет уменьшения интенсивности ЛАО можно уменьшить ширину получаемых зазоров. Поскольку удаления уже нескольких слоев атомов углерода достаточно для разрыва электрического контакта нанотрубки с электродом (туннельным током можно пренебречь), то при достаточно малой скорости протекания ЛАО могут быть получены зазоры шириной порядка единиц нанометров и менее (визуализировать данные зазоры в силу их малости не удалось, но об их наличии свидетельствовало отсутствие проводимости в цепи «нанотрубка – управляющий электрод»).

Автором также получены оригинальные результаты по исследованию зависимости частоты резонансных колебаний кремниевой микробалки, покрытой сеткой углеродных нанотрубок, от концентрации различных газов в атмосфере. В частности, для паров воды разрешающая способность составила около 0,1 % относительной влажности. Отметим, что удельная поверхность и добротность модельной МЭМС-балки и, соответственно, ее чувствительность, много меньше таковых для НЭМС-резонатора. Таким образом, систему «микробалка – поверхностный монослой углеродных нанотрубок» можно рассматривать как физическую модель для сенсорного приложения разрабатываемых НЭМС-структур.

В заключение отметим, что разрабатываемая НЭМС-технология обеспечивает средства промышленного формирования нового материала, представляющего собой совокупность плотно упакованных наноэлектромеханических структур. Этот материал является представителем пока отсутствующих на рынке активных наноматериалов и играет роль многофункциональной НЭМС-платформы, на основе которой могут быть построены системы различной функциональности. В частности, возникает возможность создания систем принципиально новых типов: активных наномембран (НЭМС-мембран) и активных нанореакторов (НЭМС-реакторов). Кроме того, описанные в данной статье НЭМС-структуры представляют значительный интерес в качестве элементной базы для таких систем, как сенсоры, энергонезависимая память, перестраиваемые фотонные кристаллы, «умные» электромагнитные материалы и др. А использование в качестве основы технологии сочетания процессов самоорганизации и самосовмещения позволяет обходиться без дорогостоящих методов литографии высокого разрешения (фотолитография низкого разрешения может требоваться лишь для некоторых приложений, например сенсорного), что обуславливает невысокую стоимость предложенного НЭМС-материала, а также возможность получения данного материала в протяженном форм-факторе.

Автор благодарит за совместную работу в проведении экспериментов М. М. Симунина и И. И. Бобринецкого.

Библиографический список

1. Pat. WO02080360. Pattern-aligned carbon nanotube growth and tunable resonator apparatus / B. D. Hunt, F. Noca, M. E. Hoenk, et. al. Publ. 2001.
2. Pat. EP1646145. Electromechanical filter and electric circuit and electric apparatus employing it / Ya. Naito, Yo. Nakanishi. Publ. 2004.

3 Неволин, В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В. К. Неволин. М. : Техносфера, 2006.

4. Разработка подходов к массовому производству структур на основе углеродных нанотрубок / И. И. Боб-

ринецкий, М. М. Симунин, С. В. Хартов и др. // Актуальные проблемы твердотельной микроэлектроники : тр. X Междунар. науч.-техн. конф. / Таганрог. радиотехн. ун-т. Таганрог, 2006. Ч. 2. С. 6–8.

S. V. Khartov

ACTIVE METAMATERIAL BASED ON INTEGRAL NEMS STRUCTURES

The conception of the integrated nanoelectromechanical systems (NEMS) formation method is overlooked in this article. This method is based on an original combination of self-organizing and self-aligning processes. The functionality of the proposed NEMS structures and possible applications of nanomaterial, formed by a two-dimensional array of such structures are discussed. The results of the experiments are directed to propose NEMS technology realization.

Keywords: nanoelectromechanical systems (NEMS), carbon nanotubes, NEMS sensors, active nanomembranes, active nanomaterial.

© Хартов С. В., 2009

УДК 621.316

Н. Н. Горяшин, М. В. Лукьяненко, А. А. Соломатова, А. Ю. Хорошко

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ КВАЗИРЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ С КОММУТАЦИЕЙ КЛЮЧЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ НУЛЕВЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ТОКА *

Представлены результаты имитационного моделирования параллельной работы квазирезонансных преобразователей напряжения с коммутацией электронных ключей при нулевых значениях тока, работающих в цепи стабилизатора напряжения с общим контуром регулирования посредством частотно-импульсной модуляции.

Ключевые слова: квазирезонансный преобразователь напряжения, электронный ключ, частотно-импульсная модуляция, удельная мощность, динамическое токовыравнивание.

Современные системы электроснабжения (СЭС) космических аппаратов (КА) являются сложным комплексом, включающим источники электроэнергии, преобразующие и распределительные устройства, объединенные в систему автоматического регулирования и предназначенные для питания бортовых нагрузок. Вторичные источники электропитания представляют собой энергопреобразующий комплекс, состоящий из N идентичных импульсных преобразователей напряжения (ИПН), работающих на общую нагрузку. В традиционном варианте в качестве ИПН используются классические преобразователи с прямоугольной формой тока и напряжения ключевого элемента (КЭ) и управлением посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Параллельная работа таких ИПН в режиме стабилизации напряжения может быть организована за счет фазового разделения управляющих импульсов ключевых элементов, работающих на общую нагрузку, с динамическим токовыравниванием, что предполагает введение дополнительных контуров управления. Фазовый сдвиг между соседними управля-

ющими импульсами задается по условию $\varphi = 2\pi/N$, где N – количество параллельных ячеек ИПН [1; 2].

Использование в рассматриваемых системах квазирезонансных преобразователей напряжения (ПН) [3–9] может быть связано с необходимостью повышения технико-экономических показателей СЭС КА, таких как удельная мощность, КПД, электромагнитная совместимость. В публикациях, посвященных преобразователям напряжения с резонансными режимами работы КЭ, вопросы параллельной работы данного типа ПН исследуются лишь в небольшой степени, чего явно не достаточно для их практической реализации.

Далее мы будем рассматривать режимы работы двух параллельно включенных квазирезонансных преобразователей напряжения последовательного типа с коммутацией электронного ключа при нулевых значениях тока (ПНТ) и частотно-импульсным законом регулирования [4; 5; 7; 9].

В упрощенной схеме ПНТ-преобразователя, представленной на рис. 1, выходной фильтр и нагрузка заменены

* Работа выполнялась при финансовой поддержке по гранту аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.)» (код проекта 2473).

стабилизатором тока, а электронный ключ и элементы резонансного контура (РК) объединены общим названием – резонансный ключевой элемент (выделен пунктиром).

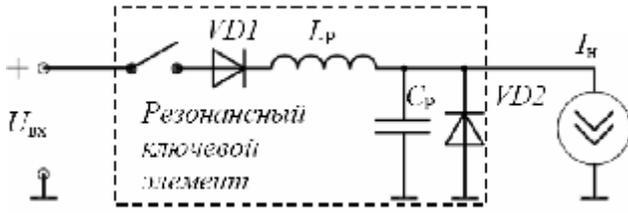


Рис. 1. Идеализированная схема ПНТ-преобразователя

Для дальнейшего анализа, считая все элементы силовой части идеальными, определим передаточный коэффициент резонансного КЭ ПНТ-преобразователя, в качестве которого принимается величина $U_{ср}/U_{вх}$, где $U_{вх}$ – входное напряжение; $U_{ср}$ – усредненное по времени значение напряжения на конденсаторе РК, равное выходному напряжению в установившемся режиме. Тогда справедливо выражение

$$U_{ср} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{ср}(t) dt. \quad (1)$$

В соответствии с временными интервалами, определенными на рис. 2, и их аналитическими выражениями, приведенными в [7; 10], формула (1) может быть выражена через параметры исследуемого преобразователя:

$$U_{ср} = \frac{U_{вх} \cdot f_{п}}{2\pi \cdot f_0} \times \left[\pi + \frac{I_{н} Z_0}{U_{вх}} + \arcsin \left(\frac{I_{н} Z_0}{U_{вх}} \right) + \frac{U_{вх}}{2 \cdot I_{н} Z_0} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{I_{н} Z_0}{U_{вх}} \right)^2} \right]^2 \right], \quad (2)$$

где $f_{п}$ – частота преобразования, f_0 – собственная частота РК.

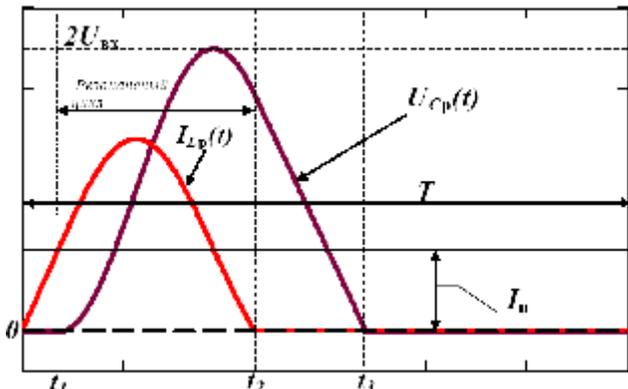


Рис. 2. Диаграммы тока и напряжения в РК за один резонансный цикл работы ПНТ-преобразователя

Отсюда можно выразить коэффициент передачи по напряжению ПНТ-преобразователя с учетом регулировочной характеристики, определяемой отношением частоты преобразования $f_{п}$ к собственной частоте РК f_0 для установившегося режима:

$$K_U = \frac{U_{ср}}{U_{вх}} = \frac{f_{п}}{f_0} \frac{1}{2\pi} \times \left[\pi + \frac{I_{н} Z_0}{U_{вх}} + \arcsin \left(\frac{I_{н} Z_0}{U_{вх}} \right) + \frac{U_{вх}}{2 \cdot I_{н} Z_0} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{I_{н} Z_0}{U_{вх}} \right)^2} \right]^2 \right]. \quad (3)$$

Из (3) можно получить статический нелинейный коэффициент передачи по напряжению, зависящий от среднего тока дросселя $I_{L\phi}$, равного току нагрузки в установившемся режиме при прочих определенных параметрах:

$$K(I_{L\phi}) = \frac{1}{2\pi} \times \left[\pi + \frac{I_{L\phi} Z_0}{U_{вх}} + \arcsin \left(\frac{I_{L\phi} Z_0}{U_{вх}} \right) + \frac{U_{вх}}{2 \cdot I_{L\phi} Z_0} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{I_{L\phi} Z_0}{U_{вх}} \right)^2} \right]^2 \right]. \quad (4)$$

Проанализируем функцию (3) при работе рассматриваемого ПН в режиме стабилизации выходного напряжения. Допустим, что в некоторый момент времени произошло изменение тока нагрузки в сторону увеличения, в результате чего коэффициент передачи уменьшился. В случае же уменьшения тока нагрузки этот коэффициент, наоборот, будет возрастать. Таким образом, по своей сущности это не что иное, как отрицательная обратная связь по току дросселя выходного фильтра, равного току нагрузки в установившемся режиме. Этот эффект обусловлен тем, что после запириания КЭ в каждом цикле коммутации емкость РК имеет некоторый заряд, время рассасывания которого ($t_3 - t_2$) определяется средним током дросселя фильтра (см. рис. 2). Отсюда можно предположить, что параллельное соединение ячеек ПНТ-преобразователей будет соответствовать параллельному соединению резонансного контура, в котором распределение токов разряда емкостей РК будет определяться волновым сопротивлением Z_0 каждого из РК. Это сопротивление в свою очередь будет иметь обратную зависимость по отношению к среднему значению тока, протекающего через индуктивность выходного фильтра соответствующей ячейки ПН при прочих фиксированных параметрах ($f_0, U_{вх}$).

Используя функцию (4), проиллюстрируем ее изменение при разных значениях волнового сопротивления РК, соответствующих параллельному соединению идентичных ячеек ПНТ-преобразователей (рис. 3).

Для организации параллельной работы ПНТ-преобразователей в цепи стабилизатора напряжения (СН) предлагается вариант, функциональная схема которого приведена на рис. 4. Здесь сигнал ошибки (рассогласования) поступает на вход генератора, управляемого напряжением (ГУН), частота которого является регулирующей переменной для всех ячеек преобразователей. Далее сигнал разделяется на некоторое количество фаз, равное количеству ячеек ПН с равными интервалами. В данном случае длительность импульса, поступающего на управ-

ляющий вход каждой ячейки ПН, не имеет значения. Задача ГУН в совокупности с фазорасцепляющим устройством состоит в том, чтобы формировать моменты времени возбуждения резонансного контура, а формирование моментов времени открытого состояния КЭ, которое нелинейно зависит от тока нагрузки, берет на себя устройство слежения за режимом для каждой ячейки (контроль ПНТ на рис. 4). Для равномерного распределения мощности между ячейками, имеющими разброс параметров, в режиме стабилизации напряжения дополнительных мероприятий по токовыравниванию не требуется, так как в отличие от классических ИПН с ШИМ в нагрузку передается энергия, накопленная в резонансном контуре, который имеет относительно большое внутреннее сопротивление. Таким образом, разделение фаз управляющих сигналов преследует только одну цель – снижение уровня пульсаций выходного напряжения по аналогии с многофазными цепями синусоидального тока.

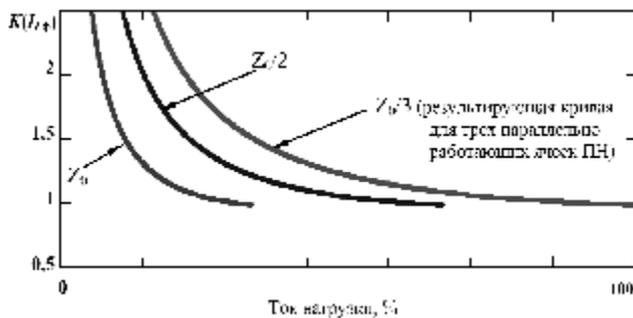


Рис. 3. Семейство характеристик, показывающих изменение нелинейного коэффициента передачи ПНТ-преобразователя от тока нагрузки при разных значениях волнового сопротивления Z_0

Для исследования режимов рассматриваемой системы и проверки изложенных выше предположений был выбран формат P-Spice, используемый пакетом программ схемотехнического моделирования MicroCap 7 [11]. В этом пакете была построена схема модели двух параллельно включенных ПНТ-преобразователей в формате P-Spice, в которой реализованы все функциональные узлы в соответствии со структурой, определенной на рис. 4. Также были приняты следующие параметры:

- номинальное (среднее) значение выходного напряжения $U_{\text{вых}} = 27 \text{ В}$;
- минимальное входное напряжение $U_{\text{вх}} = 60 \text{ В}$;
- максимальный ток нагрузки одной ячейки $I_{\text{нmax}} = 8,5 \text{ А}$ ($R_{\text{нmin}} = 3 \text{ Ом}$);
- амплитуда пульсаций напряжения на нагрузке относительно номинального значения – не более 0,1 %;
- максимальная частота преобразования $f_n = 440 \text{ кГц}$.

Параметры РК для одной ячейки рассчитывались исходя из условий

$$0 < Z_0 I_{\text{нmax}} / U_{\text{мин}} < 1, \Delta I_{L\phi} < 2I_{\text{мин}}$$

где $I_{\text{нmax}}$, $I_{\text{мин}}$ – максимальный и минимальный токи нагрузки соответственно; $U_{\text{мин}}$ – минимальное входное напряжение; $\Delta I_{L\phi}$ – размах пульсаций тока дросселя выходного фильтра.

Для обеспечения динамической устойчивости в качестве узла коррекции использовалось интегрально-дифференцирующее звено, параметры которого рассчитаны для малосигнальной модели ПНТ-преобразователя [10] известными частотными методами.

В случае параллельно включенных ячеек данных ПН структура и общая передаточная функция силовой части сохраняются, меняются лишь параметры выходного фильтра и волнового сопротивления РК, которые в результате сводятся к некоторым приведенным значениям. Для волнового сопротивления при условии идентичности ячеек ПН справедливо соотношение, полученное из закона Ома: $Z_{\text{sum}} = Z_0/N$, где N – количество ячеек ПН. При параллельном соединении ПН непрерывную часть можно представить как параллельное соединение выходных LC-фильтров, тогда суммарное значение постоянной времени остается равным постоянной времени LC-фильтра одной ячейки ПН, но при условии идентичности L- и C-компонентов ячеек между собой. При различных параметрах компонентов выходных фильтров параллельно работающих ПН применяются известные законы расчета параллельно соединенных индуктивностей и емкостей. Используя линеаризованную (малосигнальную) модель ПНТ-преобразователя, описанную в [9], передаточную функцию (ПФ) силовой части можно представить как

$$W(s) = \frac{K(I_0)K_R}{K_R C_\phi^* L_\phi^* s^2 + K_R \times \left[\frac{L_\phi^*}{R_H} + C_\phi^* (R_{\text{экв}} + K_i U_{\text{ст}}) \right] s + 1}, \quad (5)$$

где

$$K_R = \frac{R_H}{R_H + (R_{\text{экв}} + K_i U_{\text{ст}})};$$

$$K_i = -\frac{\partial}{\partial I} K(I_n) =$$

$$= -\frac{Z_0^*}{2\pi U_{\text{вх}}} \left[\frac{1}{2} - \frac{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{I_n^* U_{\text{вх}}}{Z_0^*} \right)^2}}{\left(\frac{I_n^* U_{\text{вх}}}{Z_0^*} \right)^2} \right],$$

здесь Z_0^* , C_ϕ^* , L_ϕ^* – приведенные значения волнового сопротивления, емкости и индуктивности выходного фильтра для N параллельно включенных ячеек ПНТ-преобразователей соответственно; I_n^* – общий ток нагрузки; $U_{\text{ст}}$ – напряжение стабилизации, равное $U_{\text{ввых}}$ в установившемся режиме; $R_{\text{экв}}$ – сопротивление, эквивалентное активным потерям в силовой части ПНТ-преобразователя (в случае параллельной работы ПН $R_{\text{экв}}$ рассчитывается исходя из суммарных потерь мощности). Величина коэффициента $K(I_0)$ определяется соответствующим значением функции (4), где I_0 – ток нагрузки в установившемся режиме, в окрестности значения которого линеаризуется система СН.

Так как передаточная функцию (5) является классическим колебательным звеном, то относительный коэффициент демпфирования будет иметь вид

$$\xi = \sqrt{K_R} \frac{\left(\frac{L_\phi^*}{R_H} + C_\phi^* (R_{\text{экв}} + K_i U_{\text{ст}}) \right)}{2\sqrt{L_\phi^* C_\phi^*}}. \quad (6)$$

Исходя из формулы (6), можно отметить, что параметр ξ определяется током нагрузки, приведенным волновым сопротивлением РК, а также соотношением индуктивной и емкостной составляющих параметров выходного фильтра (рис. 5): с увеличением параллельных ПН, работающих на общую нагрузку, значение параметра ξ возрастает, что повышает запас устойчивости в области малых токов нагрузки.

Таким образом, здесь можно применить методы расчета параметров коррекции по аналогии с СН, построенным на базе одной ячейки ПНТ-преобразователя, где за расчетное значение коэффициента разомкнутого контура берется точка, соответствующая максимальному заданному току нагрузки на результирующей кривой нелинейного коэффициента передачи согласно формуле (4) (см. рис. 3).

Проведем анализ СН на базе двух параллельно работающих ПНТ-преобразователей со сдвигом фаз сигналов управления КЭ на 180 и 0° с определенными выше характеристиками. Параметры элементов данного СН рассчитывались на основании источников [1–11], в том числе авторских, и предположений, изложенных выше.

Временные диаграммы работы РК каждого из двух параллельно включенных ПНТ-преобразователей со следующим разбросом параметров РК: для ПН1 $C_{p1} = 35$ нФ,

$L_{p1} = 0,75$ мкГн, $Z_{01} = 4,629$; для ПН2 $C_{p2} = 30$ нФ, $L_{p2} = 0,8$ мкГн, $Z_{02} = 5,164$ – показывают, что разница между параметрами РК отражается на запасаемой в нем энергии внутри одного цикла коммутации, а следовательно, и на части, передаваемой в нагрузку мощности одной ячейкой (рис. 6, 7).

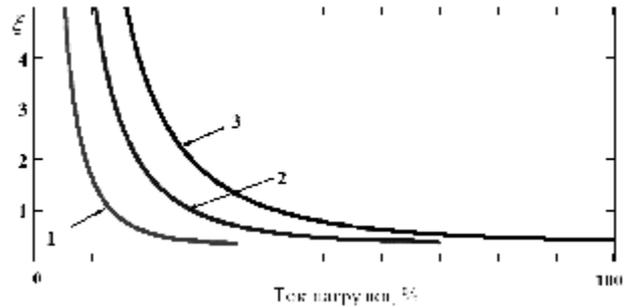


Рис. 5. Семейство характеристик, показывающих изменение коэффициента демпфирования ПНТ-преобразователя от тока нагрузки для одной ячейки (кривая 1), двух параллельно включенных ячеек (кривая 2) и трех ячеек (кривая 3) из расчета, что значение 100 % на оси абсцисс – это ток нагрузки для трех ячеек ПНТ-преобразователей

Значения токов через каждую ячейку при указанном выше разбросе параметров РК в зависимости от общего тока нагрузки приведены в таблице:

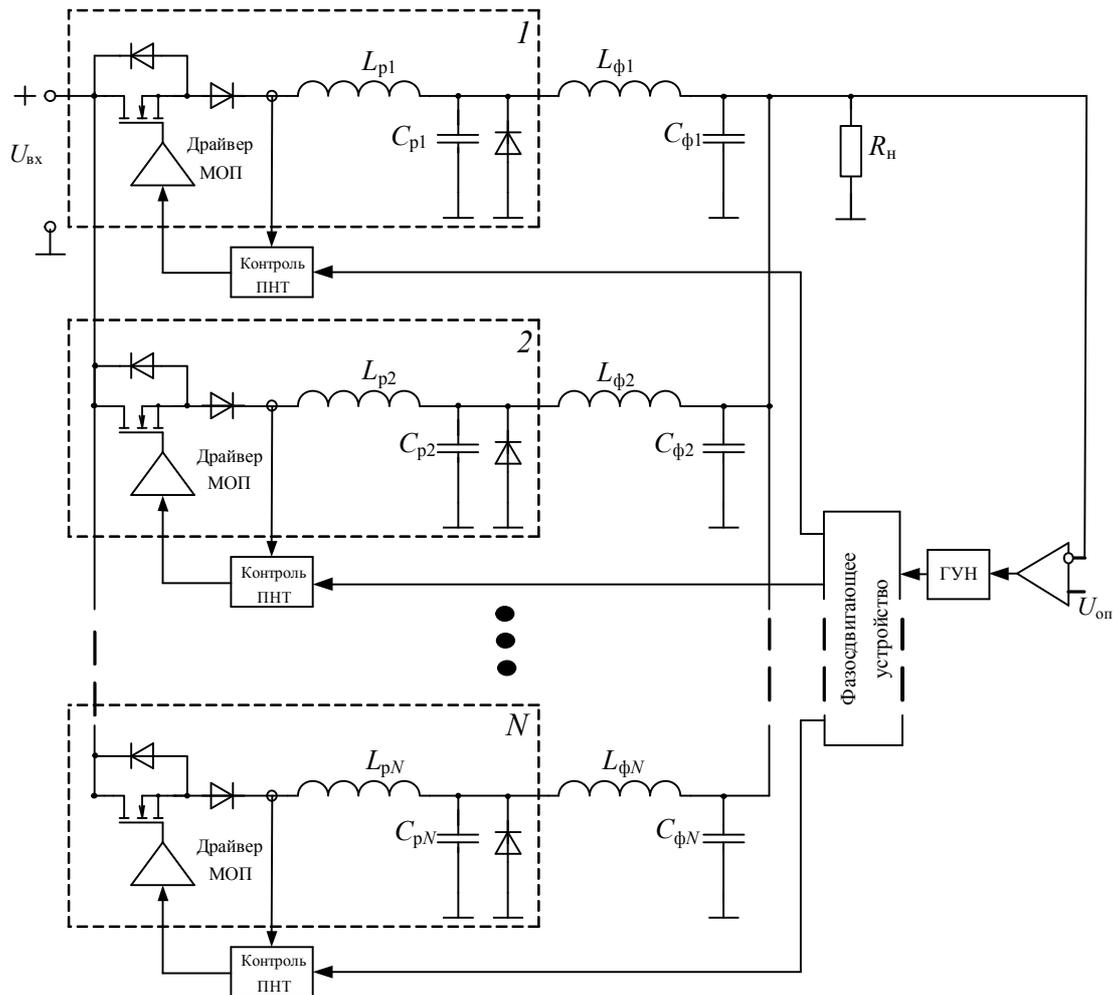


Рис. 4. Функциональная схема стабилизатора напряжения на базе параллельно включенных ПНТ-преобразователей:

ГУН – генератор, управляемый напряжением

Ток нагрузки, А			$Z_0 I_H / U_{вх}$		Z_0, Ω			$f_0, \text{МГц}$	
Общий	ПН1	ПН2	ПН1	ПН2	ПН1	ПН2	Общее	ПН1	ПН2
8,796	4,81	3,986	0,371	0,343	4,629	5,164	2,441	0,982 3	1,027
13,175	7,28	5,895	0,562	0,507					
17,494	9,826	7,668	0,758	0,66					

Анализ этих результатов приводит к выводу, что распределение средней мощности, передаваемой в нагрузку, между ячейками данных ПН при параллельной работе зависит только от параметров РК при прочих определенных условиях и не зависит от сдвига фаз между управляющими импульсами КЭ. Разброс параметров РК был задан, исходя из наихудшего случая с точки зрения неравномерности распределения токов между ячейками ПН (больше 5 %). На практике компоненты РК могут быть заданы с разбросом менее 5 %, что приводит к лучшему токовыравниванию.

Если принимать во внимание зависимость внутреннего сопротивления ПНТ-преобразователя от режимов работы, т. е. от входного напряжения и тока нагрузки, то в общем случае можно сказать, что характер распределения токов для каждой ячейки определяется соотношением параметра $Z_0 I_H / U_{вх}$ между параллельными ячейками

рассматриваемых ПН: чем $Z_0 I_H / U_{вх}$ ближе к единице, тем сильнее влияние разброса параметров РК на токовыравнивание между ячейками.

Таким образом, использование ПНТ-преобразователей в блочно-модульных схемах энергопреобразующей аппаратуры СЭС КА обеспечивает их корректную работу при параллельном соединении без введения дополнительной системы динамического токовыравнивания. Это в свою очередь повышает надежность систем данного типа, так как в случае выхода из строя одного модуля преобразуемая мощность автоматически распределится между оставшимися работающими ячейками ПН в соответствии с разбросом параметров РК. Варьирование параметров РК позволяет искусственно задавать, какую часть мощности одна отдельно взятая ячейка ПНТ-преобразователя должна отдавать в нагрузку в случае, если необходимо

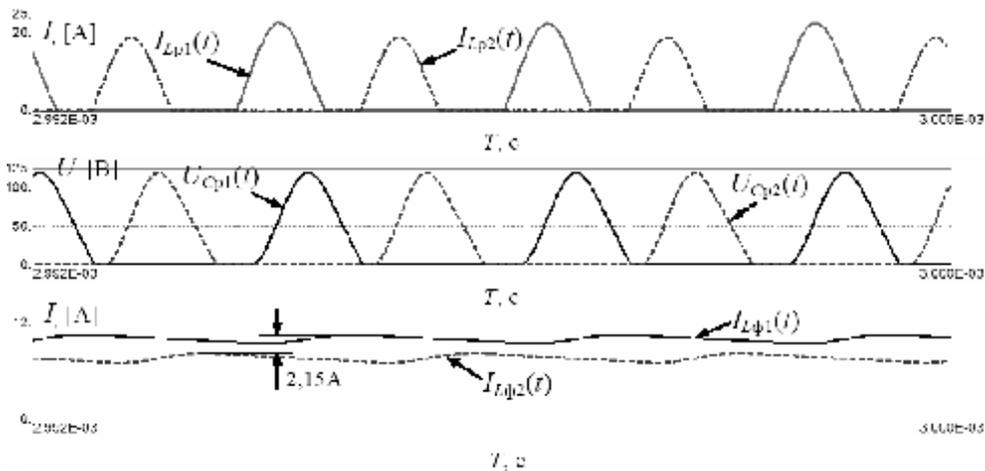


Рис. 6. Временные диаграммы сигналов в силовых цепях двух параллельно включенных ПНТ-преобразователей с разделением фаз управляющих сигналов КЭ на 180° для ПН1 (сплошная линия) и ПН2 (пунктирная линия)

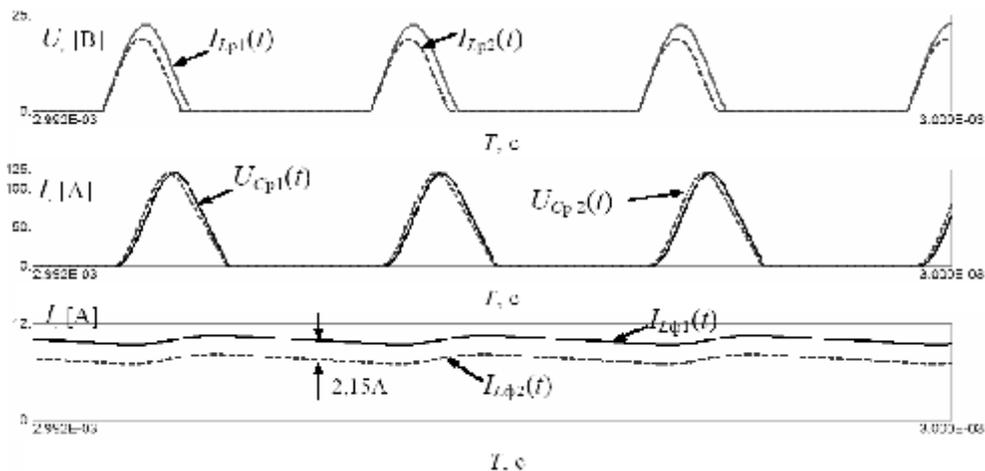


Рис. 7. Временные диаграммы сигналов в силовых цепях двух параллельно включенных ПНТ-преобразователей без разделения фаз управляющих сигналов КЭ

неравномерное распределение токов между модулями ПН в энергопреобразующем устройстве. В связи с тем что исследуемый тип квазирезонансного преобразователя имеет ограничение по диапазону рабочих токов нагрузки, для его расширения при сохранении высоких показателей по удельной мощности рекомендуется использовать выходной фильтр с нелинейной индуктивностью [9].

Библиографический список

1. Базилевский, А. Б. Теория и расчет автономных систем электроснабжения / А. Б. Базилевский, М. В. Лукьяненко ; Завод-втуз – филиал Краснояр. политехн. ин-та. Красноярск, 1988.
2. Системы электропитания космических аппаратов / Б. П. Соустин, В. И. Иванчура, А. И. Чернышев, Ш. Н. Ислаев. Новосибирск : Всерос. об-ние «Наука», 1994.
3. Волович, Г. Резонансные преобразователи напряжения / Г. Волович // Схемотехника. 2003. № 8. С. 10–12.
4. Горяшин, Н. Н. Исследование энергетических характеристик квазирезонансных преобразователей с целью их использования в системах электроснабжения космических аппаратов / Н. Н. Горяшин, А. Б. Базилевский // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Вып. 5. Красноярск, 2004. С. 63–69.
5. Горяшин, Н. Н. Практика создания квазирезонансных преобразователей напряжения / Н. Н. Горяшин // Электронные и электромеханические устройства : сб. науч. тр. Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, 2007. С. 121–130.
6. Лукин, А. В. Квазирезонансные преобразователи постоянного напряжения / А. В. Лукин // Электропитание. 1993. Вып. 2. С. 24–37.
7. Batarseh, I. Unified Steady-State Analysis of Soft-Switching DC-DC Converters / I. Batarseh, J. Abu-Qahouq / IEEE Trans. Power Electronsep. 2002. Vol. 17, № 5. P. 684–691.
8. Characterization and Comparison of Noise Generation for Quasi-Resonant and Pulsedwidth-Modulated Converters / L. Hsiu, M. Goldman, R. Carlsten, et al. // IEEE Trans. Power Electronics. 1994. Vol. 9, № 4. P. 425–432.
9. Goryashin, N. The Application of Output Filter with Variable Inductance in Zero-Current-Switch Quasi-Resonant Converter / N. Goryashin // J. of Electrical Engineering. 2008. Vol. 8. P. 78–83.
10. Erickson, R. W. Fundamentals of Power Electronics / R. W. Erickson. First Ed. N. Y. : Chapman and Hall, 1997.
11. Разевиг, В. Д. Схемотехническое моделирование с помощью MicroCap 7.0 / В. Д. Разевиг. М. : Горячая линия–Телеком, 2003.

N. N. Goryashin, M. V. Lukyanenko, A. A. Solomatova, A. Y. Khoroshko

MODELING OF PARALLEL OPERATION OF ZERO-CURRENT SWITCHING QUASI-RESONANT CONVERTERS

P-spice simulation results of two zero-current switching quasi-resonant converters operation with parallel connection in closed loop controlled voltage regulator under frequency control are presented.

Keywords: quasi-resonant voltage transformer; dongle, frequency-impulse modulation, specific power; dynamic current alignment.

© Горяшин Н. Н., Лукьяненко М. В., Соломатова А. А., Хорошко А. Ю., 2009

УДК 519.688

К. В. Богданов, А. Н. Ловчиков

ПОСТРОЕНИЕ EDA-СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Предложен новый подход к созданию EDA-систем, предназначенных для моделирования схем, содержащих элементы, функционирование которых связано с резким изменением параметров и при математическом описании приводит к существенному возрастанию производных фазовых переменных, что при традиционном моделировании ведет к срыву вычислительного процесса.

Ключевые слова: моделирование, параллельные вычисления, EDA-системы.

Моделирование и анализ работы электронного оборудования – весьма сложная задача, для решения которой активно используется специализированное программное обеспечение – EDA-системы. Их развитие идет по большей части экстенсивным путем, начиная от сис-

тем, созданных в 70-х гг. прошлого столетия. Как правило, улучшаются пользовательские интерфейсы, расширяются базы данных электронных компонентов и т. п., в то время как основные вычислительные алгоритмы остаются прежними. Чаще всего все сводится к решению получив-

шейся системы дифференциальных уравнений, являющейся математической моделью моделируемого устройства. Численные методы решения при этом позволяют получать весьма точные результаты, но при моделировании систем с большим количеством электронных компонентов возникают проблемы. Это приводит к усложнению математической модели и при моделировании систем с существенными нелинейностями значительно огрубляются результаты моделирования, что часто приводит к срыву вычислительного процесса.

В связи с этим предлагается диаметрально противоположный подход: каждый блок либо компонент устройства должен быть смоделирован отдельно. Полученные модели будут выполняться внутри отдельных вычислительных процессов. При этом, если мы рассматриваем моделирование в диапазоне времени, то каждый из таких вычислительных процессов должен получать на один или несколько своих логических входов некоторые параметры (например, мгновенное значение напряжения относительно принятой «земли»). Также этот процесс должен выдавать результаты обработки входных параметров в качестве выходных данных.

Основные проблемы, связанные с такой схемой работы, заключаются в том, что необходимо обеспечить высокую степень взаимной изолированности вычислительных процессов, сохраняя возможность синхронизированного обмена данными. Можно провести аналогию с современными вычислительными сетями, где каждая вычислительная машина максимально «самостоятельна», но имеет возможность обмениваться данными, разбитыми на пакеты, с любой другой машиной в сети в произвольный момент времени. Однако существенным отличием здесь будет являться то, что каждый процесс должен выдавать и принимать порцию информации строго по синхронизирующему сигналу. В том случае, если процесс не успевает по каким-либо причинам это сделать, возможны два подхода: ожидание и уничтожение. В первом случае ни одна порция данных от других процессов не будет принята, и не будет передана, пока от всех процессов модели не будет получен ответ. Во втором случае процессы, данные от которых не получены по истечении

установленного времени, будут уничтожены либо перезапущены, а недостающие значения данных будут заменены на нулевые. Возможна и гибридная стратегия, когда процесс уничтожается после некоторого ожидания.

Реализация асинхронного обмена сообщениями, как это сделано, например, в вычислительных сетях на основе технологии Ethernet, может повлечь за собой серьезную проблему: результаты моделирования будут зависеть от производительности системы, и без предварительного профилирования реализовать модель не получится.

Как при асинхронном, так и при синхронном обмене необходим отдельный процесс-маршрутизатор. В его функции входит сбор данных от остальных процессов, уничтожение процессов, не выславших данные в течение отведенного времени, рассылка данных по процессам в соответствии с таблицей взаимосвязей (рис. 1).

Техническая реализация в этом случае требует наличия среды с определенными возможностями. Во-первых, в ней должно одновременно (параллельно) исполняться большое количество легковесных вычислительных процессов, которые будут реализовывать атомарные блоки системы. Во-вторых, она должна поддерживать обмен сообщениями между этими легковесными процессами.

Наиболее подходящей для реализации средой представляется Erlang компании Ericsson – функциональный язык программирования, позволяющий разрабатывать программное обеспечение для разного рода распределенных систем. Язык включает в себя средства порождения параллельных процессов и их коммуникации с помощью отправки асинхронных сообщений. Программа транслируется в байт-код, исполняемый виртуальной машиной, что обеспечивает переносимость. Функциональная парадигма позволяет Erlang избежать таких традиционных для императивных языков проблем распределенных приложений, как необходимость синхронизации, опасность возникновения тупиков и гонок.

Запущенный экземпляр эмулятора Erlang называется узлом. Узел имеет имя и «знает» о существовании других узлов на данной машине или в сети. Создание и взаимодействие процессов разных узлов не отличается от взаимодействия процессов внутри узла. Для создания про-

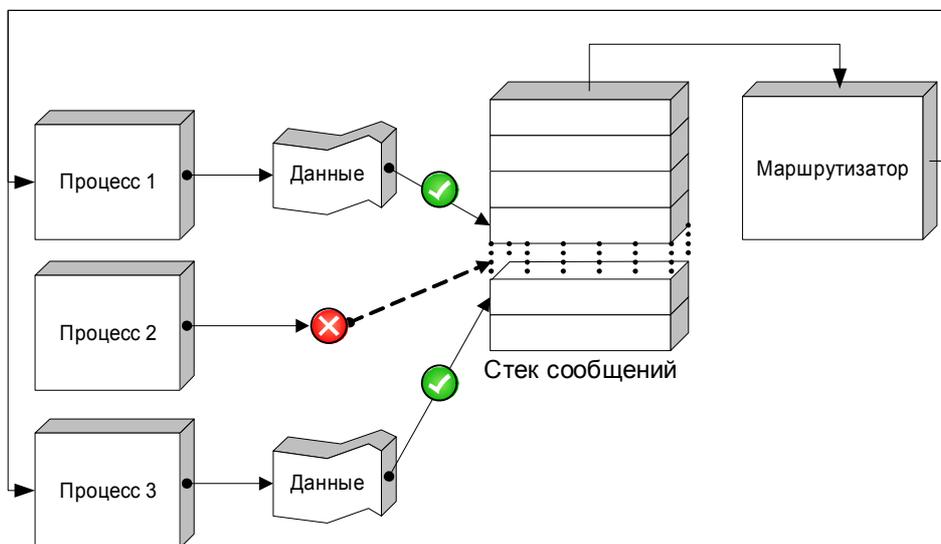


Рис. 1. Функционирование модели на основе независимых процессов

цесса на другом узле процессу достаточно знать его имя и без особых на то оснований он может не интересоваться физическим расположением взаимодействующего с ним процесса. Этим обуславливается высокая масштабируемость и способность почти линейного повышения производительности с ростом мощности системы (кластера).

Процессы, моделирующие каждый отдельный элемент схемы, смогут обмениваться сообщениями (кортежами) вида

```
{<имя корневого процесса>, <номер элемента>, <номер вывода>, <тип сигнала>, <величина сигнала 1> ..., <тип сигнала n>, <величина сигнала n>}
```

Простейший процесс, моделирующий элемент схемы, на Erlang описывается следующим образом (*Server_Node* – заранее определенное имя сервера, *modeling* – имя исполняемой программы):

```
element(Server_Node) ->
    receive
    stop ->
        exit(normal);
    {pin_number, signal1_type, signal1} ->
        % обработка входных значений %
        {modeling, Server_Node}!self(), element_number,
        pin_number, signal1_type, signal1 }
    end.
```

Шаблон маршрутизатора выглядит следующим образом (*Element_List* – список всех элементов):

```
server(Element_List) ->
    receive
    {element_number, pin_number, signal1_type, signal1} ->
        % описание таблицы маршрутизации %
        element_number ! {pin_number, signal1_type, signal1 }
    end.
```

Разумеется, количество рассылаемых сообщений будет зависеть исключительно от топологии моделируемой системы, в примере показан простой случай без множественных соединений типа «один выход – много входов».

Очевидно, что для функционирования системы необходимо иметь несколько различных типов элементов: обычный процесс, коммутатор, источник, выход.

Обычный процесс (передаточная функция, пример реализации приведен выше). Обеспечивает преобразование входного потока данных в выходной. В каждый момент синхронизации обязан принять и передать одну порцию (кортеж) данных.

Коммутатор. Обеспечивает перераспределение сигналов по нескольким выходным каналам в зависимости

ти от соотношения количества входов и выходов. По сути является аналогом узла в электротехнике, но во избежание путаницы в терминологии будем называть его коммутатором. Простейший пример симметричного (распределяющего входные сигналы равномерно) коммутатора 2 на 3 будет выглядеть следующим образом:

```
commutator(Server_Node) ->
    receive
    stop ->
        exit(normal);
    {pin1, signal1_type, signal1}, {pin2, signal2_type,
    signal2} ->
        signal1_type -> signal1_type, signal2_type,
        signal1_type
        (signal1+signal2)/3-> signal1, signal2, signal3
        {modeling, Server_Node}!self(), output1, 1,
        signal1_type, signal1}, {self(), output2, 2, signal2_type,
        signal2}, {self(), output3, 3, signal3_type, signal3 }
    end.
```

Источник. Обеспечивает выдачу сигналов. Входов не имеет. Простейший пример источника с одним выводом:

```
commutator(Server_Node) ->
    receive
    stop ->
        exit(normal);
    {} ->
        {modeling, Server_Node}!self(), output1, 1, type1, 100}
    end.
```

Выход. Псевдоблок, необходимый для получения текущих значений параметров для анализа. Является адаптером между моделью и пользовательским интерфейсом. Имеет один вход, выходов нет.

Одной из важнейших процедур при создании подобной модели является построение таблицы маршрутизации по пользовательской модели (к примеру, по принципиальной электрической схеме). На основе этой информации также должны создаваться процессы-коммутаторы.

После запуска все элементы начнут передавать сообщения маршрутизирующему процессу (серверу), который будет их распределять, опираясь на заданную топологию моделируемой системы.

В целом, программный продукт, построенный на основе данной схемы, будет состоять из следующих компонентов (рис. 2):

1. Ядро системы. Виртуальная машина Erlang. Основные функции – моделирование.

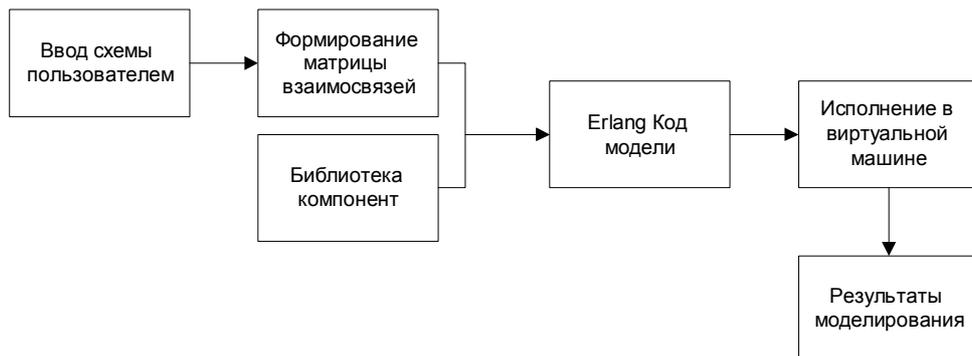


Рис. 2. Процесс моделирования

2. Библиотека компонентов. Хранилище процедур на декларативном языке Erlang.

3. Построение модели. Приложение на императивном языке высокого уровня (например, C#), формирующее в автоматическом режиме матрицу взаимосвязей для маршрутизатора и исходный Erlang-код всех процессов модели.

4. Графический интерфейс. Приложение на императивном языке высокого уровня, обеспечивающее ввод и вывод информации для пользователя.

Реализация данной системы позволит улучшить точность и скорость моделирования больших систем с существенными нелинейностями, а также позволит проводить моделирование на длительных отрезках времени без риска потерь данных.

K. V. Bogdanov, A. N. Lovchikov

CREATING EDA SYSTEMS BASED ON SYNCHRONOUS PARALLEL COMPUTING

In this article a new approach in modeling EDA systems is offered, containing elements the functioning of which is connected to sharp parameter changes; during a mathematical description it leads to an essential increase of the derivative phase variables. In traditional modeling this results in the failure of the computing process.

Keywords: modeling, parallel calculations, EDA systems.

© Богданов К. В., Ловчиков А. Н., 2009

УДК 004.4:528.9

О. Э. Якубайлик, А. А. Кадочников, В. Г. Попов, А. В. Токарев

МОДЕЛЬ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ИНТЕРНЕТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ И ПРЕЗЕНТАЦИИ РЕГИОНА*

Рассматривается модель геоинформационной интернет-системы, предназначенной для анализа состояния территории по набору показателей. Система определена как специализированный веб-портал, содержащий коллекцию типизированных компонентов-фреймов для динамического формирования веб-страниц, с элементами презентационной графики, интерактивными таблицами и картодиаграммами, с возможностью построения оценок состояния территорий в полуавтоматическом режиме.

Ключевые слова: ГИС, система мониторинга, геоинформационный интернет-сервер, веб-картография, геопространственные данные.

Оперативный анализ состояния дел в регионе и мониторинг основных социально-экономических, финансово-бюджетных и прочих показателей деятельности в разрезе муниципальных образований являются сегодня одними из приоритетных задач органов власти и управления. Сложность их решения связана прежде всего с рядом организационных и административных проблем, ведомственной разобщенностью. Другой важной проблемой является техническая – отсутствие согласованной информационной политики межведомственного информационного взаимодействия, технологических стандартов на данные и проч. Несмотря на отдельные успешные отраслевые IT-проекты, достаточно типичной продолжает оставаться ситуация, когда сбор данных осуществляется в «телефонном» или «бумажном» формате. Оценивать регион в целом и проводить сравнительный анализ его муниципальных образований в этой ситуации сложно и

малоэффективно. И даже при наличии электронных документов разнообразие их форм и форматов создает опеределенную сложность при выработке решений [1].

Представленная в данной работе модель геоинформационной аналитической интернет-системы рассматривается в контексте указанной проблемы. Она ориентирована на пользователей, которые не являются профессионалами в ГИС, но владеют базовыми навыками использования Интернета. Основное внимание уделяется современным средствам визуализации данных в рамках веб-интерфейса. Отличительной особенностью является возможность формирования оценок состояния территорий на базе основных показателей в полуавтоматическом режиме [2].

С технической точки зрения рассматриваемая здесь модель системы – это веб-портал, содержащий коллекцию типизированных компонентов-фреймов, представ-

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 09-07-98002-р_сибир_а) и гранта Президента РФ для ведущих научных школ (код проекта НШ-3431.2008.9).

ляющих информацию в текстовом и графическом виде. Их основная задача – динамическое формирование гипертекстовых веб-страниц с растровыми изображениями, элементами презентационной графики (столбиковыми, круговыми, пузырьковыми диаграммами и проч.), интерактивными таблицами и картодиаграммами, на основе базы данных социально-экономических, общественно-политических и прочих показателей по территориям (муниципальным образованиям) по заранее предопределенным шаблонам экранных форм – аналогично тому, как работают генераторы отчетов СУБД при подготовке документов для печати [3; 4].

Концепция информационной системы. Предлагается концепция и модель информационной системы, которая может обеспечить формирование целостной и структурированной картины состояния территории в наглядном виде. Требования к информационной системе:

1. Простой пользовательский интерфейс. Разумное построение системы в виде веб-приложения и использование веб-браузера как основного средства доступа к информационной системе. Существенным моментом является наличие многопользовательского доступа к информационным ресурсам и сервисам системы.

2. Наглядное представление информации с использованием таблиц, графиков, диаграмм, картограмм, тематических карт.

3. Использование единой шкалы и цветового кода для отображения состояния объектов (плохо–хорошо). Такой подход обеспечит наглядный и быстрый анализ ситуации.

4. Система показателей/индикаторов. Основная часть данных по территориям должна быть структурирована и находиться в единой «системе координат».

5. Иерархическая модель представления данных. Необходимы инструменты для перехода от общей оценки к более детальным оценкам и наоборот. Такой переход может выполняться как в территориальном разрезе (регион–муниципальное образование), так и в тематическом (раздел–подраздел).

6. Средства для интеграции данных из внешних источников. Должен быть предусмотрен механизм, позволяющий использовать данные из корпоративных информационных систем.

7. Использование гиперссылок. Страницы с информацией могут содержать перекрестные ссылки для организации удобных переходов по массиву данных. Интересным решением может быть использование отдельных элементов диаграмм, картограмм, тематических карт в качестве ссылок. Например, кликнув по названию муниципального образования на тематической карте, можно перейти на страницу с детальной информацией по выбранной территории.

8. Поддержка нескольких целевых аудиторий. Для разного уровня пользователей форма подачи информации и ее детализация может отличаться.

Основные типы информационных ресурсов системы – справочники, документы, таблицы данных, интерактивные графические объекты, картографические наборы (рис. 1).

Рассмотрим структурно-функциональную схему информационной системы (рис. 2).

Хранилище данных по показателям. Предназначено для структурированного хранения данных о территориях по основным показателям. Информация содержится в многомерном массиве данных. Каждое значение показателя имеет следующие индексы: территория, показатель, период времени. Периоды времени могут быть как регулярными – год, полугодие, квартал, месяц, так и произвольными, которые задаются индивидуально для группы значений показателей.

Внешние источники данных. Кроме внутреннего структурированного хранилища данных по территориям могут использоваться данные из внешних информационных систем. Для организации доступа к таким данным из внешнего источника необходим специальный модуль-адаптер.

Модель визуализации. Предназначена для формирования структуры тематических разделов (мета-страниц),

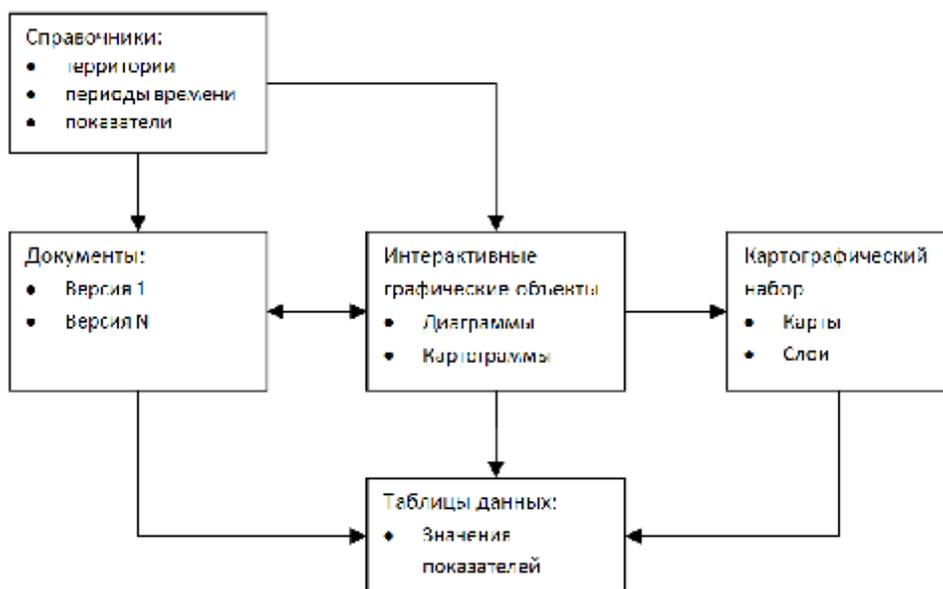


Рис. 1. Типы информационных ресурсов

правил вычисления оценок ситуации и шаблонов отображения. Структура тематических разделов задается для каждого типа территории (регион, муниципальное образование). Для каждого раздела определяется:

- источник данных;
- правила вычисления оценки ситуации;
- шаблон отображения.

Предусматривается возможность назначения отдельным паспортам в иерархической системе паспортов атрибутов типа «оценка ситуации» с автоматическим их суммированием/обобщением на верхних уровнях. Это дает руководителю возможность оперативного поиска проблем: увидев, например, на уровне «Муниципальное образование в целом» тревожную оценку по разделу «Состояние ЖКХ», можно по щелчку мыши выйти в этот раздел и посмотреть оценку ситуации по всем его подразделам, соответственно – обнаружить проблемную тему.

Хранилище страниц. На основе модели визуализации строится иерархия страниц для каждой территории в

соответствии с ее типом (рис. 3). Кроме базовых страниц, определенных в модели, могут быть созданы дополнительные страницы. Содержимое таких страниц носит вспомогательный характер.

Предусмотрена поддержка нескольких версий каждого визуального паспорта, при этом отображается та версия, которая соответствует уровню доступа пользователя.

Визуальное представление страницы определяется ее шаблоном. Элементами шаблонов визуальных паспортов могут выступать тексты, таблицы, растровые изображения, диаграммы (столбиковые, круговые, пузырьковые и проч.), картограммы и тематические карты различных типов. Важно отметить, что все эти элементы могут быть «активными», например, при щелчке мыши на пузырек диаграммы может выполняться переход на другую страницу.

Совокупность визуальных паспортов образует коллекцию иерархически взаимосвязанных страниц портала, обеспечивая при этом гипертекстовые переходы как по

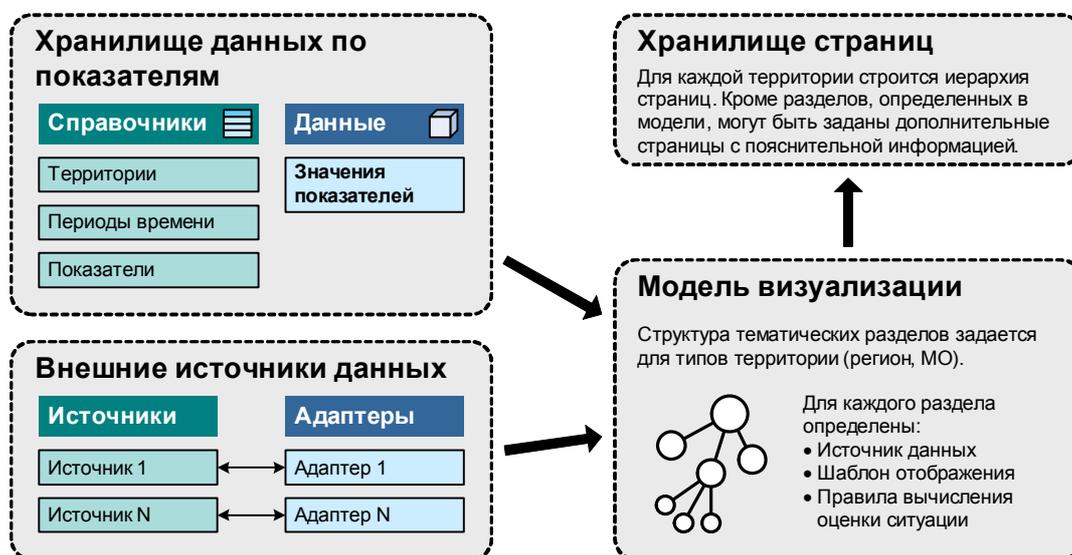


Рис. 2. Структурно-функциональная схема

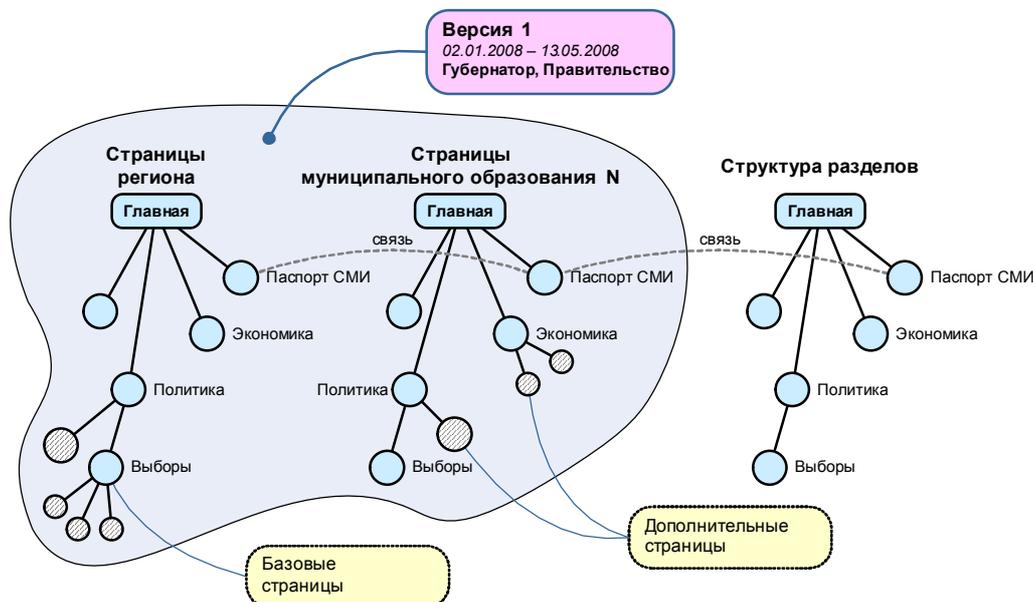


Рис. 3. Структура страниц веб-портала системы

горизонтالي (на тот же тематический раздел другого муниципального образования), так и по вертикали (на другой подраздел того же муниципального образования).

Технологические решения. Доступ к объектам системы регулируется системой разделения прав доступа, которая предусматривает как минимум два уровня доступа: администрирование (модификация) и просмотр данных.

Особенность взаимодействия пользователей с объектами системы заключается в использовании единой программной среды (рис. 4).

В качестве единой программной среды может выступать веб-браузер, соответственно в основе интерфейсов системы могут лежать технологии PHP, Html/JavaScript, Adobe Flash, Java и т. д.

В соответствии с доступом, пользователь каждого типа получает свою версию интерфейса системы. Каждый интерфейс включает в себя специфический набор инструментов, соответствующий роли пользователя.

Выделены следующие типы интерфейсов системы: программный и визуальный.

Программный интерфейс выполняет функции обработки запросов со стороны визуального интерфейса и может различаться в своем функциональном наполнении для разных типов пользователей, в целях безопасности. Интерфейс работает напрямую с данными системы.

Визуальный интерфейс напрямую взаимодействует с пользователем и обрабатывает его действия, такие как щелчки мыши на графических объектах, перетаскивание объектов на экране, формируя из них запросы, понятные программному интерфейсу. Содержание визуального интерфейса может зависеть от типа пользователя, чтобы максимально соответствовать поставленной перед пользователем задаче.

Визуальный интерфейс должен обладать богатой функциональностью, для того чтобы пользователь мог оставаться в рамках единой программной среды при работе с объектами системы. Для этого можно использовать технологию работы с визуальными временными объектами на стороне клиента. Визуальные временные объекты являются частью визуального интерфейса и представлены в виде изменяемых и настраиваемых графических

объектов. Они посылают запросы к программному интерфейсу серверной части, который в свою очередь может задействовать дополнительные сервисы для комплексных аналитических вычислений или генерации дополнительных графических объектов.

В качестве технологической основы выступают программные пакеты, обеспечивающие хранение данных, обработку запросов и графическое представление информации (рис. 5).

Для гибкой работы интерфейсов используется технология, в основе которой лежат framework библиотеки [5]. Интеграция пакетов происходит через дополнительный модуль, который предоставляет специальный программный интерфейс.

Реализация. Данная информационная модель была успешно использована в ряде проектов, среди которых выделяются следующие:

- информационно-графическая система анализа региональной инфраструктуры «Терра: Визуальные паспорта Югры»;
- веб-портал «ГИС мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли Красноярского края»;
- банк пространственных данных социально-экономического развития администрации Красноярского края.

В рамках работ по развитию информационно-графической системы анализа региональной инфраструктуры «Терра» был разработан комплекс программно-технических средств «Терра: Визуальные паспорта Югры», предназначенный для формирования и представления целостной и структурированной информации об общественно-политической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре.

В системе выделены следующие основные направления подачи информации:

- общие характеристики округа и муниципальных образований;
- структуры власти, руководители, контакты и координаты;
- политическая ситуация – прежде всего в муниципальных образованиях;

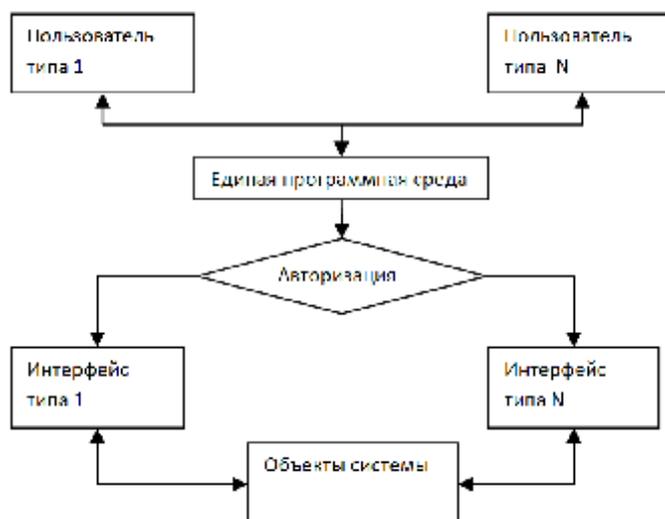


Рис. 4. Взаимодействие пользователей с объектами системы в рамках единой программной среды

- ожидаемые события в округе и муниципальных образованиях;
- возможные риски («негативные сценарии») в общественно-политической ситуации в округе и муниципальных образованиях;
- работа СМИ округа и муниципальных образований;
- ситуация в общественном мнении в округе и в муниципальных образованиях;
- ситуация в экономике округа и муниципальных образований;
- ситуация в социальной сфере в округе и муниципальных образованиях;
- работа муниципального хозяйства в муниципалитетах.

Для реализации проекта использовались следующие информационные технологии и программное обеспечение: операционная система – Windows 2003; веб-сервер – Apache; основные языки для разработки – PHP 5, JavaScript; программная библиотека для доступа к гео-данным – MapServer; компонент для визуального редактирования HTML – TinyMCE; система управления базами данных – Firebird 1.5. В качестве картографического формата данных использовался стандартный формат TAB-файлов ГИС MapInfo.

Предложенная модель информационной системы была использована также при разработке банка пространственных данных Единой краевой информационной системы Красноярского края. Банк включает в себя ряд программных интерфейсов, которые опираются на его информационные ресурсы. Основные из них:

- «Паспорта муниципальных образований» – информационная система, предоставляющая пользователю до-

ступ к паспортам муниципальных образований Красноярского края с помощью картографического интерфейса с возможностью построения тематических карт по выбранным экономическим показателям в заданный период времени;

- «Месторождения полезных ископаемых» – справочная система по месторождениям полезных ископаемых на примере Манского района Красноярского края с описанием каждого месторождения. Пространственные запросы позволяют получить список месторождений по выбранной территории;

– «Здравоохранение» – информационная система по медучреждениям Красноярского края. Содержит статистическую информацию по каждому медучреждению, по медицинскому оборудованию, лицензиям по населенным пунктам, сельским поселениям и районам Красноярского края;

– «Информационная система по населенным пунктам края» – содержит сведения по учреждениям бюджетной сферы, транспортной доступности и прочим характеристикам муниципальных районов, образований и населенных пунктов края. Система предоставляет средства выборки данных по малочисленным населенным пунктам края;

– «Информационная система оценки инфраструктуры жизнеобеспечения малочисленных, труднодоступных населенных пунктов» – содержит справочные сведения и средства анализа и оценки состояния социальной и транспортной инфраструктуры, энергоресурсов, связи и возможностей использования санитарной авиации для решения проблем малочисленных, труднодоступных населенных пунктов.

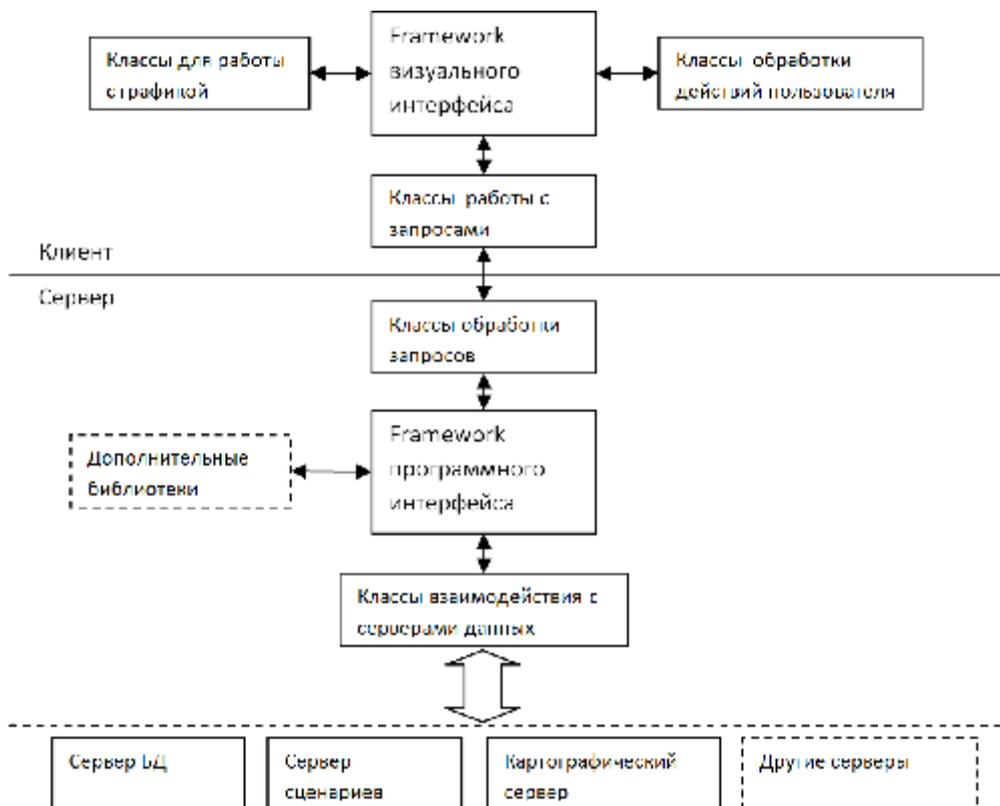


Рис. 5. Программно-технологическая основа системы

Разработка Банка пространственных данных выполнена на основе программного обеспечения для веб-картографирования MapGuide Open Source, с использованием ряда дополнительных инструментальных программных средств.

Библиографический список

1. Кадочников, А. А. Формирование геоинформационного интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов. / А. А. Кадочников, В. Г. Попов, А. В. Токарев, О. Э. Якубайлик // Журн. Сиб. федерал. ун-та. 2008. Серия «Техника и технологии». Т. 1. №4. С. 377–386.

2. Якубайлик, О. Э. Геоинформационное веб-приложение для презентации региона на основе системы визуальных паспортов / О. Э. Якубайлик, А. В. Токарев // По материалам Междунар. конф. «Вычислит. и информац. технологии в науке, технике и образовании», 10–14 сент.,

2008 г. : совместный вып. В 4 ч. Ч. 3 / Казахский нац. ун-т им. Аль-Фараби ; Ин-т вычислит. технологий Сиб. отделения Рос. акад. наук. Алматы ; Новосибирск : Изд-во КазНУ, 2008. С. 388–392.

3. Якубайлик, О. Э. Разработка веб-интерфейсов для задач публикации геопространственных данных / О. Э. Якубайлик, В. Г. Попов // По материалам Междунар. конф. «Вычислит. и информац. технологии в науке, технике и образовании», 10–14 сент., 2008 г. : совместный вып. В 4 ч. Ч. 3 / Казахский нац. ун-т им. Аль-Фараби ; Ин-т вычислит. технологий Сиб. отделения Рос. акад. наук. Алматы ; Новосибирск : Изд-во КазНУ, 2008. С. 382–387.

4. Якубайлик, О. Э. Геоинформационный интернет-портал / О. Э. Якубайлик // Вычислит. технологии. 2007. Т. 12. Спец. вып. 3. С. 117–126.

5. Кадочников, А. А. Программное обеспечение информационно-аналитических систем на основе геоинформационного интернет-сервера / А. А. Кадочников. // Вычислит. технологии. 2007. Т. 12. Спец. вып. 2. С. 70–78.

O. E. Yakubailik, A. A. Kadochnikov, V. G. Popov, A. V. Tokarev

THE MODEL OF REGIONAL GEOINFORMATION ANALYTICAL INTERNET SYSTEM FOR THE ANALYSIS OF THE TERRITORY CONDITIONS AND PRESENTATION

The model of the geoinformation Internet system intended for the analysis of the territory condition on the basis of a set of indicators is considered. The system is defined as the specialized web portal containing a collection of typified frame components for dynamic creation of web pages, with elements of presentation graphics, interactive tables and maps, with the possibility of construction of conditions estimations of territories in a semi-automatic mode.

Keywords: G.I.S., monitoring system, geoinformation Internet server, web-mapping, geospatial data.

© Якубайлик О. Э., Кадочников А. А., Попов В. Г., Токарев А. В., 2009

УДК 681.5

М. В. Карасева

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В МУЛЬТИЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

Рассмотрена проблема совершенствования процессов взаимодействия пользователя с распределенными информационными системами путем разработки модельно-алгоритмического обеспечения адаптивного поиска информации.

Ключевые слова: мультилингвистическая информация, распределенная информационная система, адаптивный поиск.

На сегодняшний день наиболее перспективным видом информационных систем (ИС) являются информационно-управляющие системы (ИУС) в мультинациональных корпорациях. Это в первую очередь объясняется характерной тенденцией интеграции ранее разрозненных информационных источников корпорации в единую информационную базу. Упомянутые информационные системы обладают такими характерными свойствами, как централизованность (в плане сосредоточения базы зна-

ний ИС) и многоязычность хранящихся документов. При этом для современных информационно-управляющих систем характерен значительный прирост объемов многоязычной (мультилингвистической) информации, хранящейся в банках данных.

В процессе управления дискретными техническими и человеко-машинными системами предприятия необходимо осуществлять поиск и предоставлять ЛПР все хранящиеся документы и данные, имеющие отношение к сло-

жившейся производственной ситуации, предварительно упорядочив их по степени важности выдаваемой информации. Особую сложность приобретают вопросы своевременного предоставления управленческому персоналу документов, принадлежащих различным языковым множествам. Значительно возросшие требования к оперативности и качеству функционирования систем поиска мультилингвистической информации, используемых ЛПР в различных экономических и производственных ситуациях, требуют разработки соответствующих алгоритмов.

Традиционно применяемые алгоритмы поиска мультилингвистической информации ориентированы только на обработку существующей коллекции документов. Для этого разработаны достаточно эффективные процедуры [1]. Но требования к их оперативности и качеству значительно возросли. В такой ситуации использования только традиционных методов и их модификаций недостаточно, поскольку это не позволяет оперативно и адекватно оценивать меняющиеся приоритеты самого ЛПР, в значительной мере влияющего на процесс принятия решений.

В данной работе предлагается новый подход к использованию адаптивной модели пользователя [2], в роли которого в случае ИУС выступает ЛПР. Такой подход позволяет увеличить эффективность традиционных процедур поиска релевантных ситуации документов в мультилингвистической коллекции документов за счет использования модели ЛПР и алгоритма ее адаптивной корректировки на каждом этапе работы с системой. При этом достигается более высокая проработка априорной информации и предоставляется возможность использования ее в традиционных системах поиска мультилингвистической информации.

Коллекции мультилингвистической информации.

Очевидно, что когда речь идет о банках данных мультинациональных предприятий и корпораций, основной задачей становится своевременное предоставление управленческому персоналу документов, принадлежащих различным языковым множествам.

Для обеспечения скорости оперирования мультиязычными документами разрабатываются различные способы представления и ранжирования таких документов.

В рамках рассматриваемого подхода применяется хорошо зарекомендовавшая себя векторная модель данных [2]. Любой документ представляется как вектор частот появления определенных терминов в нем. При таком подходе отношения между документами и терминами представляются в виде матрицы смежности A , элементом w_{ij} которой является частота появления термина t_j в документе d_i . Обозначим через m количество проиндексированных терминов в коллекции документов d , а через n – количество самих документов. В общем случае элементом w_{ij} матрицы A является некоторый вес, поставленный в соответствие паре документ–термин (d_i, t_j) . После того как все веса заданы, матрица A становится отображением коллекции документов в векторном гиперпространстве.

Активная модель и профили ЛПР. Профиль ЛПР отражается на выборе рациональной стратегии поведения в сложных производственных ситуациях, зависит не столько от количественных соотношений, сколько от ка-

чественных формулировок. Выбор категории или профиля ЛПР зачастую определяется набором типовых ситуаций, которые возникают в системе управления только в том виде, в котором он был зафиксирован на практике.

При формировании профиля ЛПР учитывается ряд атрибутов различных производственных ситуаций, возникающих в процессе функционирования промышленного предприятия:

- наименование ситуации;
- описание причин ее возникновения;
- указание последствий, к которым она может привести;
- временные характеристики, определяющие время возникновения и окончания ситуации;
- наименование структурных подразделений предприятия, где возникла производственная ситуация;
- описание мероприятий, необходимых для ее успешного разрешения;
- указание производственных факторов, влияющих на процесс принятия решений;
- список документов, регламентирующих поведение ЛПР в сложившейся ситуации;
- перечень данных, поступающих от различных информационно-измерительных систем предприятия и используемых ЛПР в процессе выработки решения.

Необходимо отметить, что на ряде промышленных предприятий некоторые из указанных выше характеристик производственных ситуаций могут не использоваться управленческим персоналом в процессе принятия решения. Кроме того, ряд характеристик производственных ситуаций может оставаться не определенным экспертами в течение значительного промежутка времени. В этих случаях в разрабатываемой поисковой системе при формировании профиля ЛПР будут учитываться только известные (базовые) характеристики и не будут рассматриваться остальные.

В данной работе предложена новая схема моделирования ЛПР, основанная на инициализации начального профиля и его последовательной корректировке в процессе работы. При этом документы могут быть представлены как векторы латентного семантического пространства [2]. Для того чтобы отслеживать и непрерывно анализировать возможные изменения интересов ЛПР, предлагается ввести понятие временного измерения в латентном семантическом пространстве, тем самым рассматривая уже не само латентное семантическое пространство, а его модификацию – временное латентное семантическое пространство. Каждое измерение (за исключением временного) такого векторного пространства представляет собой условные вероятности при заданном классе $P(\alpha|z)$. Документы представляют собой векторы с весовыми коэффициентами (координатами) $P(z|d)$, временное измерение полагаем равным нулю. Запросы ЛПР, равно как и сами документы, могут быть представлены в виде векторов во временном латентном семантическом пространстве. Кроме весов $P(z|Q)$ у них есть дополнительное (временное) измерение (текущий вес), первоначально равный некоторой положительной величине, уменьшающейся с течением времени, исходя из предположения о падении актуальности определенной произ-

водственной ситуации (при отсутствии ее фигурирования в течение продолжительного времени). Если ЛПР инициирует запрос, связанный с определенной категорией из его текущего профиля, то вес данной категории может быть либо стабилизирован на определенное время, либо увеличен.

Согласно геометрии рассматриваемого латентного семантического пространства, запрос ЛПР, состоящий из терминов, проецируется в латентное семантическое пространство, при этом гиперповерхность S_p , образованная запросом Q_p , является пересечением вероятностных поверхностей всех классов H_{ki} , введенных на латентном семантическом пространстве, в которых с определенной вероятностью фигурирует данный термин:

$$S_i = \bigcap_k H_{ki}.$$

Алгоритм адаптивной коррекции профиля ЛПР основан на неявной обратной связи с ним, которая реализуется на основе истории его запросов в конкретных производственных ситуациях [3]. На вход алгоритма поступает запрос ЛПР, на выходе – одна или более троек (триплетов) вида (C_i, W_i, α_i) , где C_i – категория ЛПР, W_i – текущий вес; α_i – уровень изменчивости (смысл данной величины состоит в том, чтобы отразить, насколько изменяются интересы ЛПР в рамках текущей производственной ситуации по отношению к прошлым ситуациям и, следовательно, запросам к БД ИУС). При этом профиль ЛПР организован таким образом, что его интересы разделены на два типа: краткосрочные (краткосрочный профиль) и долгосрочные (долгосрочный профиль). Как правило, емкость долгосрочного профиля больше емкости краткосрочного.

Таким образом, предлагаемый в работе подход к использованию активной модели пользователя в ИУС по-

зволяет еще на этапе проектирования предусмотреть возможность персонализации таких систем. Очевидно, что использование активной модели пользователя (в роли пользователя в данном случае выступает ЛПР) имеет существенное значение при учете производственных факторов, влияющих на процесс принятия обоснованных решений, анализе последствий, к которым может привести та или иная ситуация (то или иное решение). Кроме того, в силу мультиязычности описываемой системы, персонализация позволяет сократить время обучения ЛПР и обработки мультиязыковых запросов к системе. При этом непрерывная корректировка модели позволяет отслеживать изменения в предпочтениях ЛПР и вносить соответствующие корректировки в коллекции релевантных документов.

Библиографический список

1. Карасева, М. В. Мультилингвистическая модель распределенной системы на основе тезауруса / С. В. Рогов, П. В. Зеленков, И. В. Ковалев, М. В. Карасева // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2008. Вып. 1(18). С. 26–28.
2. Кустов, Д. В. Адаптивная корректировка модели пользователя на основе методологии PLSA / Д. В. Кустов // Вестник унив. комплекса : сб. науч. тр. / под общ. ред. проф. Н. В. Василенко. Красноярск, 2004. Вып. 1(15). С. 45–54.
3. Карасева, М. В. Метапоисковая мультилингвистическая система поиска узкоспециализированной информации / И. Н. Карцан, М. В. Карасева, П. В. Зеленков, В. В. Брезницкая. М., 2007. Зарегистрировано во Всерос. науч.-техн. информ. центре, № 50200701673, рег. номер ОФАП 8891.

M. V. Karaseva

A USER ADAPTIVE MODEL IN THE MULTILINGUAL INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS

The paper studies the problem of the user's interaction with distributed informational systems by developing improved model-algorithmic support of adaptive informational search.

Keywords: multilingual information, distributed informational system, adaptive search.

© Карасева М. В., 2009

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МНОГОАТТРИБУТИВНЫХ МЕТОДОВ*

Представлены многоаттрибутивные методы принятия решений, обеспечивающие решение задач выбора оптимального состава бортовой системы космических аппаратов «Гонец-М» и «Глонасс-М» при многих критериях. Приведены алгоритмы, реализующие процедуры многоаттрибутивного выбора и концептуальная схема системы поддержки принятия решений на основе данных методов.

Ключевые слова: проектирование спутников навигации и связи.

Использование многоаттрибутивных методов принятия решений при проектировании бортовой системы космического аппарата позволяет учесть возрастающие тактико-технические требования к бортовой аппаратуре и перспективные тенденции развития современной электронно-вычислительной аппаратуры, а также значительно сократить время разработки и оптимизировать финансовые затраты [1].

В СППР реализуется модифицированный метод упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением (TOPSIS), преимуществом которого является возможность решения задачи принятия решений при бесконечном числе альтернатив. Оба критерия – «наикратчайшее расстояние до позитивного идеального решения» и «наибольшее расстояние до негативного идеального решения» – заменяются на «как можно ближе к PIS» и «как можно дальше от NIS». Термины «как можно ближе» и «как можно дальше» – нечеткие, и, чтобы их смоделировать, применяются функции принадлежности из теории нечетких множеств: d_p^{PIS} (уступки) и d_p^{NIS} (поощрения) – расстояния до PIS и NIS соответственно.

Вместо k исходных целей будем использовать цели «минимизировать расстояние до PIS d_p^{PIS} » и «максимизировать расстояние от NIS d_p^{NIS} ». Получим задачу: $\min d_p^{\text{PIS}}(x); \max d_p^{\text{NIS}}(x), x \in X$.

В связи с тем, что эти две цели обычно конфликтуют друг с другом, невозможно одновременно достичь их индивидуального оптимума. Каждая цель достигает только части своего оптимума. При детальном рассмотрении функции принадлежности $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$ – это две невозрастающие/неубывающие монотонные функции между точками экстремума $(d_p^{\text{PIS}})^*$ и $(d_p^{\text{NIS}})^*$. Функции $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$ показывают степени предпочтения «как можно ближе к PIS» и «как можно дальше от NIS».

Компромиссное решение x^* достигается решением задачи $\max \{\min[\mu_1(x), \mu_2(x)]\}$.

Используемый fuzzy-метод фактически переформулирует задачу многоцелевого принятия решений как задачу нечеткого программирования. Пользователь получает возможность сгенерировать недоминируемое множество решений.

Реализуемый в предложенной системе метод учета неопределенности и субъективности оценок при выборе

недоминируемого решения учитывает не только неопределенность в оценках ЛПР, но и его интуитивные склонности относительно реальных характеристик атрибутов и их специфики [2].

Метод рассматривает m альтернатив, представляющих собой различные составы бортовой системы, из которых необходимо сделать выбор. Каждому выбору соответствует n значений атрибутов.

Согласно концепции «идеальной точки», обозначим через $A^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ «идеальную» альтернативу, для которой x_i^* предпочтительней $x_i^{(k)}$ (атрибут альтернативы $A^{(k)}$) для любых k и i . Отметим, что некоторые значения x_i^* могут и не соответствовать значениям атрибутов альтернатив $A^{(k)}$ рассматриваемого множества.

Обозначим субъективную оценку относительной важности каждого i -го атрибута с помощью нечеткого множества H_i . H_i описывается своей характеристической функцией вида $f_{H_i}: H_i \rightarrow [0, 1]$, которая характеризует предпочтительность $A^{(k)}$ по i -му атрибуту. Очевидно, что $f_{H_i}(x_i^*) = 1$, так как x_i^* – наилучшее возможное значение i -го атрибута.

Выбор альтернативы представляет собой попытку минимизировать «расстояние» между $A^{(k)}$ и A^* , которое является функцией субъективных предпочтений, характеризующих квалификацию, опыт практической работы, уровень знаний о предметной области, а также зависит от уровня информированности о представленном для выбора реальном множестве альтернатив в конкретной ситуации.

Благодаря сгенерированным коэффициентам в процессе выбора учитывается неопределенность, присущая данной задаче. Очевидно, что если для всех $x_i^{(k)}$ ($1 \leq k \leq m$) на этапе принятия решения информация о предпочтительности недоступна (скрыта), то неопределенность по i -му атрибуту становится относительно высока. Однако высокий уровень для $x_i^{(k)}$ и низкий для $x_i^{(l)}$, где $k \neq l$, снижает неопределенность по i -му атрибуту. В решающем алгоритме применяется наиболее часто используемая мера неопределенности – энтропия.

Чтобы выразить нечеткое множество H_i , определяется оценка степени принадлежности элемента $x_i^{(k)}$ этому нечеткому множеству. Это позволяет найти в дальнейшем неопределенность по i -му атрибуту как функцию энтропии e_i .

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-412П/25).

В расстоянии между двумя альтернативами весовые коэффициенты, зависящие от неопределенности, будут малы, если неопределенность высока. Определяем коэффициент сатисфакции по i -му атрибуту S_i . Когда неопределенность, соответствующая i -му атрибуту, высока, то e_i близко к 1 и коэффициент S_i мал.

При относительных весах по важности w_i , назначаемых ЛПР i -му атрибуту априори, можно определить весовой коэффициент, комбинирующий нечеткость и субъективную оценку.

Для того чтобы определить, насколько удалены друг от друга альтернативы $A^{(k)}$ и A^* введем функцию расстояния

$$Dis[A^*, A^{(k)}] = \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot (1 - f_{Hi}(x_i^{(k)})))^2}$$

Значение $Dis[A^*, A^{(k)}$ соответствует среднеквадратичному отклонению $Dis^{(i)}$. Нашей целью является выбор альтернативы $A^{(k)}$, которая максимально близка к A^* :

$$Dis[A^*, A^{(k^0)}] = Dis_k^{\min}[A^*, A^{(k)}].$$

Процедура выбора недоминируемого решения, основанная на субъективных предпочтениях ЛПР, выглядит следующим образом.

Шаг 1. Назначение идеальной альтернативы. Предоставление пользователю всех имеющихся недоминируемых альтернатив.

Шаг 2. Назначение пользователем $f_{Hi}(x_i^{(k)})$ характеризующих предпочтительность k -й альтернативы по i -му атрибуту для $\forall k, i$. Назначение весовых коэффициентов w_i , определяющих относительную важность i -го атрибута.

Шаг 3. Определение наилучшей альтернативы путем выполнения следующих вычислительных процедур:

- расчет частных энтропий по каждому атрибуту $e_i \forall i$;
- расчет коэффициентов сатисфакции по каждому атрибуту $S_i \forall i$;
- расчет весовых коэффициентов S_i , комбинирующих нечеткость и субъективную оценку;
- расчет значений $Dis^{(i)}$ для $\forall i$, определяющих расстояние между k -й альтернативой и идеальной альтернативой по i -му атрибуту;
- расчет $Dis(A^*, A^{(k)})$;
- определение наилучшей альтернативы путем минимизации $Dis(A^*, A^{(k)})$.

Шаг 4. Предоставление ЛПР значения $Dis(A^*, A^{(k)})$ и соответствующего ему решения. Если полученное решение удовлетворяет ЛПР, то завершение, иначе – переход на Шаг 1 [3].

Рассмотрим концептуальную схему системы поддержки принятия решений, основанную на приведенных методах (см. рисунок).

Программное приложение реализовано на языке C++ с использованием средств визуального программирования приложений Borland C++ 5.0. Это позволило наиболее полно использовать возможности, предоставляемые объектно ориентированным подходом в программировании, а также наиболее качественно разработать графический интерфейс приложений, работающих под управлением операционной системы Microsoft Windows от версии 3.1 и выше.

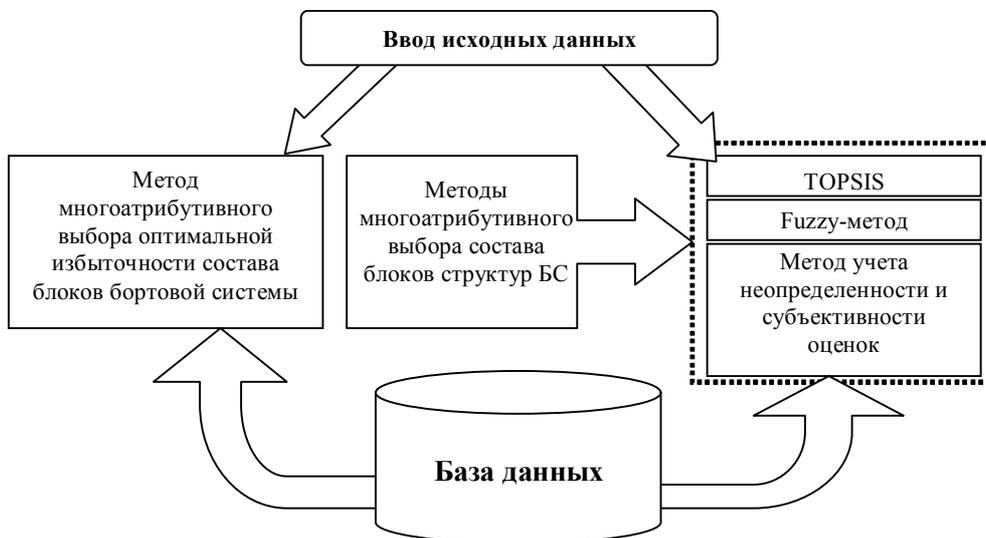
Система работает с пользователем (оператором) в интерактивном режиме. Пользователь сам выбирает метод вычисления. Также он может контролировать любые изменения параметров и изменять настройки системы и исходные данные.

Анализ работы СППР показал, что наилучшие результаты работы алгоритма проявляются при параметре $p = 2$.

Для исследования работы алгоритма fuzzy-метода в условиях поставленной задачи использовались различные начальные данные (значения стоимости и надежности предлагаемых блоков, требуемая глубина резервирования и др.). Проводится анализ работы метода в зависимости от таких данных, задаваемых ЛПР, как предпочтительность критериев и разность между суммой глобальных и действительных процентов достижимости по всем целям.

Fuzzy-метод генерирует недоминируемое решение на основании заложенной в него информации о следующих параметрах: количестве типов блоков; количестве вариантов каждого типа блоков; количестве и виде принятых к рассмотрению критериев эффективности; значении характеристик (в данном случае – стоимости и надежности) предлагаемых вариантов блоков; требуемой глубине резервирования блоков.

С помощью fuzzy-метода ЛПР, изменяя значения параметров, может получить недоминируемые решения,



Концептуальная схема СППР

из которых можно сформировать множества различной мощности. При необходимости в процесс формирования множества недоминируемых решений может включаться несколько экспертов.

Процедура метода учета неопределенности и субъективности оценок выделяет из этого множества одно решение, основываясь на индивидуальных предпочтениях ЛПР. Выбор среди нескольких альтернатив осуществляется, основываясь на значениях следующих параметров, заданных ЛПР: предпочтения альтернатив по каждому критерию f_{ni} ; весовых коэффициентов атрибутов w_i [4].

Проведенные исследования показывают, что увеличение мощности множества недоминируемых решений может вести к улучшению решения, однако с другой стороны, его увеличение нецелесообразно тогда, когда пользователь не в состоянии дать непротиворечивую оценку всем предоставленным ему альтернативам.

Библиографический список

1. Батищев, Д. И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д. И. Батищев, Д. Е. Шапошников ; Ин-т прикл. физики Рос. акад. наук. Н. Новгород, 1994. 92 с.
2. Михалевич, В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. М. : Наука, 1982. 286 с.
3. Антамошкин, О. А. Применение метода многоатрибутивного принятия решений для выбора состава бортовой системы обмена информацией / О. А. Антамошкин // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2005. Вып. 6. С. 96–99.
4. Shipley M. F. A Decision Making Model for Multi-Attribute Problems Incorporating Uncertainty and Bias Measures / M. F. Shipley, A. de Korvin, R. Obid. Houston : University of Houston-Downtown, 1990.

О. А. Antamoshkin

DECISION SUPPORT SYSTEM ON THE BASIS OF MULTIATTRIBUTE METHODS

In the paper the multiattribute methods of decision-making providing problem solving a choice of optimal structure of on-board system of a space crafts «Gonets-M» and «Glonas-M» at many criteria are presented. The algorithms realizing procedures of a multiattribute choice and the conceptual circuit of a decision support system on the basis of given methods are resulted.

Keywords: designing navigation companions and communication.

© Антамошкин О. А., 2009

УДК 519.866

М. А. Горбунов, А. В. Медведев, П. Н. Победаш, Е. С. Семенкин

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ МИРОВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАК ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ*

Описан подход к моделированию стратегии глобального социально-экономического развития на основе экономико-математической модели оптимального управления, учитывающей взаимодействие основных экономических агентов мировой социально-экономической системы (МСЭС) – производственного, потребительского, финансового секторов, а также управляющего центра (мирового правительства). Формулируется оптимизационная задача управления глобальным социально-экономическим развитием, анализируются основные принципы анализа, ограничения и целевые критерии.

Ключевые слова: глобальный экономический кризис, устойчивое развитие, математические модели оптимального управления.

В условиях глобального социально-экономического кризиса значительно возрос интерес к проблемам выживания человечества и сбалансированного развития мировой социально-экономической системы. Очевидно, что такое развитие требует согласования интересов

мирового производственного, потребительского и финансового секторов, а также участия единого управляющего центра (мирового правительства). В этой связи актуальной остается задача разработки математических моделей развития мировой экономики, учитывающих баланс ин-

*Работа выполнена при финансовой поддержке АВИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-136П/3).

тересов указанных экономических агентов, на возможно более длительный срок. Ряд математических моделей, описывающих глобальное развитие, разработаны в 50-х гг. XX в. учеными Римского клуба [1] и др. В основе подхода к математическому анализу указанных моделей лежит решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Проведенный анализ таких моделей показал реальность кризисных явлений мирового развития, таких как парниковый эффект, перенаселенность, истощение природных ресурсов и других, а также необходимость и возможность борьбы с ними, что подтверждается подписанием на межгосударственном уровне в 1996 г. Киотского протокола об ограничении выбросов в атмосферу парниковых газов. Следует отметить, что указанные модели не решают задачу оптимального управления процессами глобального развития и требуют проведения большого количества численных экспериментов, не всегда приводящих к получению оптимальных или даже квазиоптимальных сценариев развития. В настоящее время интерес к изучению проблем глобального развития возрождается в связи с серией мировых финансовых кризисов последних лет, обусловленных несовершенством мировой финансовой системы, ориентированной на доллар как единственную мировую валюту и ставшей заложником геополитики одной страны. Среди современных публикаций по данному вопросу отметим работы [2–4]. В данной работе предлагается подход к решению задачи управления глобальным социально-экономическим развитием на основе решения многокритериальной многошаговой задачи линейного программирования (ММЗЛП).

Следует отметить, что для управления глобальным социально-экономическим развитием управляющему органу МСЭС необходимо решить ряд трудных и взаимосвязанных между собой задач: социально-производственных (обеспечение высоких объемов производства с учетом платежеспособного спроса, занятости и высокого уровня жизни населения); финансово-производственных (в первую очередь устранение дисбаланса финансовой системы и производственного сектора); экологических (сохранение пригодной для жизни окружающей среды).

Рассмотрим основные элементы предлагаемого подхода. Сформулируем следующую задачу, которую назовем основной задачей глобального социально-экономического развития. Пусть имеется ряд отраслей мирового производственного сектора, производящих продукты питания, одежду, жилье, предметы первой необходимости и т. п. Требуется определить количество основных производственных фондов и объемы производства указанных отраслей в заданные моменты времени, при которых суммарные чистые приведенные стоимостные денежные потоки (ДП) производственного, социального и финансового секторов мировой экономики будут наибольшими на заданном горизонте планирования. Сформулированную задачу, по нашему мнению, можно рассматривать как глобальный инвестиционный проект (ИП) по оптимальному управлению развитием МСЭС с учетом нижеследующих положений. Предположим, что в модели глобального развития (МГР) перечисленные выше экономические агенты являются одновременно и лицами,

принимающими решения (ЛПР), заинтересованными в сбалансированном глобальном социально-экономическом развитии. При этом управляющий центр (УЦ) определяет общие «правила игры» в МСЭС с учетом жизненно важных условий функционирования и интересов всех ЛПР, направленных на соблюдение экономических, экологических, социальных норм, способствующих основной цели УЦ и всей МСЭС в целом – выживанию на возможно долгий срок, включая предельный вариант, когда срок действия ИП не ограничен.

Рассмотрим возможные цели каждого ЛПР. Целью производственного сектора естественно считать максимизацию дисконтированной суммы собственных средств (в денежном или материальном эквиваленте). Потребительский сектор заинтересован в том, чтобы имея определенную минимальную сумму средств, обеспечить себя минимальной потребительской корзиной: жильем, одеждой, пищей, медицинским и социальным минимумом услуг. Имея сверх этого прожиточного минимума, обеспечиваемого УЦ или производственным сектором в виде дотаций или заработной платы, совокупный потребитель, к которому относятся работники производственной и финансовой сфер, может обеспечить себе долевое участие (национализацию, приватизацию) в реальных и финансовых активах МСЭС. Цель УЦ или критерий качества управления рассматриваемой МСЭС может заключаться в минимизации суммы штрафов за нарушение экологических, социальных и экономических квот (правил). При этом без значительной погрешности для содержательного смысла будем предполагать, что выполняются следующие предпосылки:

1. Каждая отрасль мирового производственного сектора производит продукцию одного вида.
2. Фонд оплаты труда (ФОТ) работников мирового производственного сектора есть некоторая доля суммарной выручки от реализации всей производимой продукции.
3. Объем производства по каждому виду продукции не превосходит прогнозного спроса на эту продукцию в любой момент времени на заданном временном интервале, причем спрос на ресурс определяется как произведение нормы душевого потребления этого ресурса на численность населения.
4. Денежные средства каждого ЛПР в текущий момент времени неотрицательны (т. е. данный экономический агент платежеспособен в течение всего срока действия ИП).
5. Финансовый сектор обеспечивает кредитами производственный на один, текущий, период функционирования, по завершении которого последний из них регулярно возвращает первому сумму кредита и проценты за кредит.

Предположения 1, 2, 5 введены для упрощения моделирования и не влияют значительно на точность решаемой задачи. Предположение 3 ограничивает сверху объем производимых товаров потенциальным спросом, исключая ситуацию перепроизводства, влекущую за собой убытки для производственного сектора МСЭС и, очевидно, способную привести к мировому кризису, подобному кризису перепроизводства в период экономической депрессии 30-х гг. XX в. Предпосылка 4 является обязательным условием реализуемости любого ИП, так как

ситуация, когда сумма средств какого-либо ЛПР близка к нулю, фактически является кризисной не только для этого ЛПР, но для всей МСЭС. Подчеркнем, что предпосылка 3 является существенной, поскольку увязывает интересы основных участников МСЭС и позволяет в первом приближении добиться приемлемого компромисса при реализации их целей, к основным из которых относятся следующие:

- удовлетворение спроса потребительского сектора;
- обеспечение прибыли производственного и финансового секторов (обусловленной высоким уровнем производства в сочетании с платежеспособным спросом и своевременно предоставляемыми и возвращаемыми кредитами);
- своевременные и в должном объеме налоговые поступления в бюджет МСЭС (за счет увеличения прибыли и доходов не только ее производственного и финансового, но и потребительского секторов);
- стабильность функционирования (исключение кризисных состояний) МСЭС в рамках выбранных «правил игры».

Отметим, что в настоящее время особую актуальность получает задача предотвращения финансовых кризисов, которую можно трактовать как задачу оптимального управления объемами фондов производственного и финансового секторов и их увязки с объемами фондов (материальных благ) всей мировой системы. С учетом всех приведенных выше предпосылок МСЭС можно рассматривать как саморегулирующуюся управляемую систему, автоматически реагирующую на изменения конъюнктуры спроса и предложения товаров, инвестиционной активности в различных сферах деятельности, объемов денежной массы, численности населения, уровня загрязнений или иных параметров. Под управлением МСЭС тогда можно понимать соответствующие законодательные акты, регулирующие налоговые ставки, суммы и ключевые направления дотаций, соотношение основных производственных и финансовых фондов, квоты на уровень загрязняющих веществ и другие параметры системы.

Комплексное исследование указанных проблем требует применения системного подхода, основанного на решении многокритериальных задач экономической динамики и получения значений и интервальных диапазонов параметров моделей, в границах которых МСЭС может сбалансированно развиваться максимально долгое время.

Для реализации этого подхода предлагается использовать ряд принципов анализа, сформулированных ниже в виде следующих составных частей экономико-математического ядра.

Экономическая часть:

1. В качестве критерия эффективности функционирования каждое ЛПР использует показатель чистой дисконтированной стоимости NPV.
2. Текущие денежные средства каждого участника ИП складываются из сальдо поступлений и платежей на предыдущий момент времени.
3. Используется общий принцип учета рисков (управления рисками) в соответствии с формулой $r_i = r + i$, где r_i , r – соответственно ставки дисконтирования с учетом и без учета риска; i – уровень инфляции.

4. Целевые функции ЛПР имеют общую структуру (дисконтированное сальдо денежных потоков стратегических доходов и расходов).

Математическая часть:

1. Зависимость от времени переменных модели (соответствует реализации содержательного принципа временной стоимости денежных потоков).
2. Линейность модели (содержательно соответствует наличию линейного алгоритма расчета стратегических доходов и расходов экономических агентов при абстрагировании от ряда несущественных для предварительного анализа бухгалтерских и финансовых деталей).
3. Многокритериальность модели (содержательно учитывает взаимосвязь интересов всех ЛПР).

На основании приведенных составляющих экономико-математического ядра приходим к выводу, что для решения поставленной задачи оптимального управления глобальным социально-экономическим развитием целесообразно использовать класс многокритериальных многошаговых задач линейного программирования, что влечет за собой возможность применения эффективных методов анализа предлагаемых моделей, основанных на использовании принципов Беллмана, максимума, операционного исчисления (z-преобразования).

Общее уравнение баланса $Ds_l(t)$ участвующих в любом глобальном ИП текущих денежных средств l -го ЛПР ($l = 1, \dots, N$) в момент t , формально имеет вид

$$Ds_l(t+1) = Ds_l(t) + Ps_l(t+1) - Pl_l(t+1) \quad (1) \quad (t = 0, \dots, T-1),$$

где $Ps_l(t+1)$, $Pl_l(t+1)$ ($t = 0, \dots, T-1$) – соответственно поступления и платежи l -го ЛПР, порождаемые при реализации данного проекта; T – срок действия (горизонт планирования) ИП; N – количество ЛПР. Отметим, что уравнения динамики собственных средств ЛПР содержат денежные потоки поступлений и платежей, обеспечивающих их текущее функционирование. В качестве потоков поступлений и платежей, в зависимости от ЛПР, могут рассматриваться прибыль, амортизационные отчисления, инвестиции в основные и оборотные средства, продажа активов, выпуск ценных бумаг, оплата труда, налоги, выплата дивидендов, дотации, социальные выплаты, суммы основного долга и процентов за кредиты и т. п. Например, для мирового производственного сектора к стратегическим поступлениям можно отнести выручку от реализации продукции, амортизацию, внутренние и внешние инвестиции, а к платежам – проценты по кредитам, налоги (на добавленную стоимость, на имущество, на прибыль, за пользование недрами и т. п.), штрафы за нарушение экологических и социальных ограничений. В качестве поступлений мирового финансового сектора (валютного рынка и рынка производных ценных бумаг) можно рассматривать валютную маржу и поступления в результате обращения на рынке вторичных ценных бумаг, а в качестве платежей – например, некоторый мировой налог на увеличение денежной массы. Заметим, что в начальный момент времени $t = 0$ МСЭС имеет фиксированное начальное состояние $Ds_l(0) = Ds_l^0$ ($l = 1, \dots, N$), где Ds_l^0 – начальная сумма денежных средств l -го ЛПР.

Для выполнения условия платежеспособности, согласно предпосылке 4, текущие денежные средства любого ЛПР считаются неотрицательными в течение всего периода действия ИП:

$$Ds_l(t) \geq 0 \quad (t = 1, \dots, T; \quad l = 1, \dots, N). \quad (2)$$

Нарушение условия (2) можно трактовать так, что в МСЭС у l -го ЛПР в некоторый момент t не хватит финансовых ресурсов для реализации ИП. Указанное условие, как было отмечено выше, является обязательным для реализуемости ИП для любого экономического агента. При этом если для какого-либо ЛПР в некоторый момент времени указанное неравенство не выполнено, т. е. $\exists l \in \{1, \dots, N\}, t \in \{1, \dots, T\}: Ds_l(t) < 0$, то процесс реализации ИП будем называть кризисным.

Будем считать, что выручка от реализации продукции $R_k(t)$ k -й производственной отрасли МСЭС удовлетворяет следующим ограничениям:

$$R_k(t) \leq \min(q_k(t), E_k(t)) \quad (k = 1, \dots, n), \quad (3)$$

где $q_k(t)$ – спрос на продукцию k -го вида в стоимостном выражении в момент t ; $E_k(t)$ – максимальный, определяемый техническими возможностями производственных отраслей (уровнем научно-технического прогресса) объем произведенной продукции k -го вида в стоимостном выражении в момент t .

В качестве целевого критерия ЛПР целесообразно выбрать чистую приведенную стоимость (NPV) денежных потоков, представляющую разность его стратегических доходов и затрат в виде

$$NPV_l = \sum_{t=0}^T \frac{ДП_l(t)}{(1+r)^t} \quad (l = 1, \dots, N),$$

где $ДП_l(t)$ – денежные потоки l -го ЛПР в момент t ; r – ставка доходности ИП.

Отметим, что в отличие, например, от микро- или мезоуровня, в мировой МСЭС запасы большинства ресурсов существенно исчерпаемы (а значит, ограничены). Поэтому для k -й производственной отрасли должны выполняться условия:

$$\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{j=1}^n \bar{a}_{kj} y_j(t) \leq \bar{A}_k \quad (k = 1, \dots, m), \quad (4)$$

где $y_j(t)$ – объем выпуска продукции j -го вида в момент t , \bar{a}_{kj} – норма расхода k -го продукта (ресурса) на производство продукта (ресурса) j -го вида (коэффициенты матрицы Леонтьева); \bar{A}_k – известные мировые запасы k -го ресурса; m – количество видов основных, рассматриваемых в модели, экономических (природных) ресурсов, к которым можно отнести землю, воду, полезные ископаемые и т. п. Условия (3) и (4) являются принципиальными ограничениями при функционировании МСЭС, и пренебрежение ими может значительно снизить ценность любой глобальной модели.

С учетом предпосылки 3 и условия (4) принципиальную значимость приобретает прогноз такой характеристики социального сектора, как численность населения $N(t)$. Предполагая, что она описывается линейным разностным уравнением 1-го порядка $N(t+1) = (1+\nu)N(t)$, ($t = 0, \dots, T-1$), легко получить явную формулу $N(t) = N_0(1+\nu)^t$ ($t = 0, \dots, T-1$), где N_0 – начальная

численность в момент $t = 0$; ν – коэффициент прироста населения за один период. Из последней формулы видно, что при $\nu > 0$ $N(t)$ растет экспоненциально. Очевидно, для социального сектора имеет место неравенство, подобное (4):

$$\bar{b}_k \sum_{t=0}^{T-1} N(t) \leq \bar{A}_k \quad (k = 1, \dots, n), \quad (5)$$

где \bar{b}_k – норма среднедушевого расхода k -го продукта. Если рассматривать задачу оптимального функционирования (выживания) мировой социально-экономической системы на максимально долгий срок $T \rightarrow \max$, то в условиях ограниченности запасов мировых ресурсов и растущей численности населения, оптимальное значение T^* может оказаться сравнительно небольшим. По истечении срока $T \leq T^*$ при выполнении приведенных выше положений исчерпание одного из ресурсов может повлечь за собой мировой кризис. Это заставляет всерьез задуматься над тем, насколько рационально расходуются ресурсы, и какие действия необходимо предпринимать для устойчивого развития мировой экономической системы и отсрочки кризиса.

Можно предложить следующие варианты управления глобальным развитием:

- регулирование численности населения (управление параметром ν);
- рационирование расходов ресурсов на душу населения (управление параметрами \bar{b}_k в условиях (5));
- рациональное природопользование (управление параметрами \bar{a}_{kj} в условиях (4));
- регулирование баланса подсистем «производство–население», например в соответствии с условиями (3), «производство–финансовый сектор», «население–финансовый сектор» и т. п.

Описанный подход, основанный на приведенных выше концепции и экономико-математическом ядре, апробирован при решении следующих задач анализа крупных экономических систем:

- задачи управления развитием региональных социально-экономических комплексов в приложении к анализу региональной промышленной политики;
- задачи согласования контракта производителя, инвестора и поставщика оборудования (задачи развития фирмы);
- задачи реструктуризации крупного предприятия машиностроительной отрасли;
- задачи разработки автоматизированного рабочего места инвестиционного аналитика в индустрии жилищного строительства и ипотечного кредитования.

В настоящее время разработан пакет прикладных программ [5], облегчающий анализ многокритериальных динамических и статических линейных задач экономической динамики. Использование указанного пакета на основе изложенной выше концепции моделирования повышает обоснованность принятия решений при управлении глобальным социально-экономическим развитием с учетом интересов многих лиц для получения диапазонов параметров МСЭС и оптимальных значений управляющих переменных, обеспечивающих ее бескризисное развитие на максимально долгий горизонт планирования.

Библиографический список

1. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М. : Наука, 1978.
2. Махов, С. А. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера : препринт Ин-та прикл. математики Рос. акад. наук им. Акад. М. В. Келдыша / С. А. Махов. М., 2005.
3. Solte, D. The world's finance system – Insights to the «Holy Grail» of globalization / D. Solte // Berlin : Terra Media Verlag, 2007.

4. Радермахер, Ф. Й. Баланс или разрушение. Эко-социальная рыночная экономика как ключ к устойчивому развитию мира / Ф. Й. Радермахер ; ForSIS. Некоммерческое партнерство «За устойчивое информационное общество в России». Новосибирск, 2008.

5. Конструктор и решатель дискретных задач оптимального управления («Карма») : программа для ЭВМ / правообладатели: А. В. Медведев, П. Н. Победаш, А. В. Смольянинов, М. А. Горбунов. Зарегистрировано Федер. службой по интеллек. собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент) 11.09.2008, № 2008614387.

M. A. Gorbunov, A. V. Medvedev, P. N. Pobedash, E. S. Semenkin

THE MODELLING OF THE WORLD SOCIO-ECONOMIC STRATEGY AS AN OPTIMAL CONTROL PROBLEM

An optimization approach to the modeling of the world socio-economic strategy on the basis of economic-mathematical model of optimal control is described in this article. It is evident the model has to take into account the interaction of the main economic agents of the world socio-economic system, that is, producing, consuming, financial and control world sectors. The optimization task of global socio-economic development control is formulated and the basic principles of analysis, restrictions and criteria are analyzed.

Keywords: global economical crisis, sustainable development, mathematical models of optimal control.

© Горбунов М. А., Медведев А. В., Победаш П. Н., Семенкин Е. С., 2009

УДК 330.142.211.4

М. А. Горбунов

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ*

Проводится классификация методов моделирования инвестиционных проектов, сравнительный анализ данных методов, выявляются преимущества, недостатки, направления применения. На основе разработанного алгоритма расчета чистой прибыли предприятия выявляются факторы эффективности инвестиционного проекта.

Ключевые слова: инвестиционный проект, оценка и анализ эффективности, моделирование проекта.

В целях развития своей деятельности предприятиям любой сферы необходимо привлечение инвестиционных ресурсов, борьба за которые в условиях возрастающей конкуренции непрерывно усиливается. Как следствие, увеличивается потребность в точном обосновании проектов развития и наиболее эффективном использовании привлеченных инвестиций. Достижение данных целей невозможно без использования инструментария, позволяющего моделировать инвестиционный процесс, и детального представления механизма воздействия различных факторов, оказывающих прямое или косвенное влияние на эффективность инвестиционного проекта.

При выборе инструментария, с помощью которого будет производиться рассмотрение инвестиционного

проекта, реализуемого на предприятии, важным элементом являются классификации показателей, методов, подходов, используемых при этом.

Наиболее распространенными инструментами являются системы поддержки принятия решений в области инвестиционного финансирования. Любой программный продукт, используемый при рассмотрении инвестиционных проектов, основан на математической модели. В настоящее время считаем целесообразным выделить три метода моделирования инвестиционного процесса (инвестиционных проектов):

- имитационный;
- оптимизационный;
- оптимизационно-имитационный.

*Работа выполнена при финансовой поддержке АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-136П/3).

Имитационному методу соответствуют программные продукты, основанные на имитационных математических моделях; оптимизационному – прикладные программы, построенные на базе оптимизационных моделей; оптимизационно-имитационному – прикладные программы, базирующиеся на комбинированной математической модели, сочетающей в себе элементы оптимизационного и имитационного методов. Более подробное сравнение данных методов представлено в таблице.

В настоящее время наиболее распространенным методом моделирования инвестиционных проектов является имитационный метод. В рамках этого метода созданы такие программные продукты, как Project Expert, «Альт-Инвест», Comfar и другие, широко применяющиеся для оценки и анализа инвестиционных проектов [1]. Указанные программные продукты являются удобным средством обоснования эффективности проекта перед потенциальным инвестором, поскольку дают возможность детально планировать инвестиционный проект и составлять прогнозную финансовую отчетность.

Задача расчета денежных потоков предприятия и показателей эффективности ИП в оптимизационном режиме является более сложной задачей, поскольку она направлена на формирование оптимальных денежных потоков, которые приводят к максимальному значению показателя эффективности инвестиционного проекта.

Следует отметить, что при использовании оптимизационного метода математическая сложность моделирования накладывает существенные ограничения на уровень детализации расчетов и их соответствие законодательным методикам. В этой связи предлагается использовать оптимизационно-имитационный метод, который

сочетает в себе черты оптимизационного и имитационного методов, при этом приоритет отдается оптимизационному методу.

Целесообразность применения оптимизационно-имитационного метода к рассмотрению инвестиционных проектов проявляется в следующем.

1. Система поддержки принятия решений, построенная на основе оптимизационно-имитационного метода, сохраняет в целом оптимизационный характер. Следовательно, она позволяет на предварительном этапе анализа рассчитывать оптимальные показатели эффективности инвестиционного проекта и определять наилучший сценарий развития проекта.

2. Комбинирование двух методов делает возможным приведение в соответствие методик расчетов финансовых показателей деятельности предприятия законодательным методикам. Поэтому расчет показателей эффективности проекта становится более точным и адекватным действительности.

3. Использование оптимизационно-имитационного метода позволяет уменьшить размерность оптимизационной модели, что делает возможным более широкий горизонт планирования и уровень детализации исходных данных.

При использовании оптимизационно-имитационного метода ключевым является понятие агрегированного основного производственного фонда (АОПФ), поскольку оно выступает связующим звеном между двумя методами. Под АОПФ подразумевается минимальный набор объектов основных производственных фондов (ОПФ), включающий в себя количество разных видов ОПФ, необходимых для начала производства продукции. Таким

Сравнительная характеристика методов моделирования инвестиционных проектов

Метод	Преимущества	Недостатки	Направления применения
Имитационный	– обеспечивает высокий уровень детализации при расчете показателей деятельности предприятия; – дает возможность оценивать проекты как в составе предприятия, так и «приростным методом» [2]	– отсутствие возможности получения оптимальных показателей эффективности проекта; – отсутствие возможности находить оптимальный вариант развития проекта	– оценка и анализ инвестиционных проектов; – тактическое планирование деятельности предприятия
Оптимизационный	– позволяет в оптимизационном режиме учитывать формирование денежных потоков предприятия в ходе реализации проекта; – позволяет видеть оптимальный сценарий развития проекта	– относительно невысокий уровень детализации расчета показателей деятельности предприятия; – сложность моделирования, что приводит к упрощению методик расчетов и их отклонению от бухгалтерского и налогового учетов	– оценка и анализ инвестиционных проектов; – стратегическое планирование деятельности предприятия
Оптимизационно-имитационный	– позволяет в оптимизационном режиме учитывать формирование денежных потоков предприятия в ходе реализации проекта; – позволяет видеть оптимальный сценарий развития проекта; – содержит методики расчетов финансовых показателей деятельности предприятия, соответствующие бухгалтерскому и налоговому учетам	– уровень детализации выше, чем при использовании оптимизационного метода, но все же уступает имитационному	– оценка и анализ инвестиционных проектов; – стратегическое планирование деятельности предприятия (при использовании динамической модели возможно также применение для тактического планирования)

образом, для запуска проекта необходима хотя бы одна единица АОПФ.

Для определения того, с помощью каких факторов возможно управление эффективностью инвестиционного проекта на стадии его планирования и в ходе реализации, необходимо определить критерии эффективности проекта и алгоритм формирования денежных потоков предприятия.

В качестве главного критерия эффективности целесообразно использовать показатель чистой текущей стоимости NPV, который может быть представлен в следующем структурном виде:

$$NPV = \frac{W_r + Am}{1 + r} - I,$$

где W_r – чистая прибыль по итогам реализации инвестиционного проекта; Am – амортизационные отчисления, рассчитанные за весь период; r – ставка дисконтирования, учитывающая риски проекта за весь период; I – объем инвестиционных вложений за весь срок реализации проекта.

Целесообразность использования показателя NPV объясняется следующими его достоинствами:

- NPV является аддитивным показателем, что позволяет учитывать стоимость совокупности инвестиционных проектов как сумму стоимостей каждого из них;
- через ставку доходности учитывает связанные с проектом риски деятельности;
- является однозначным показателем (в отличие, например, от внутренней нормы доходности);
- является абсолютным показателем, выражающим в единой денежной форме влияние всех элементов денежных потоков от данного инвестиционного проекта на его эффективность (в отличие от имеющего размерность времени срока окупаемости или таких относительных показателей, как внутренняя норма доходности, индекс рентабельности инвестиций и т. п.), и отвечает основной цели деятельности предприятия – увеличению его добавленной стоимости;
- определяет большинство остальных показателей, а не наоборот.

Для нахождения чистой текущей стоимости необходимо произвести расчет чистой прибыли W_r и амортизации Am , учитывая при этом особенности бухгалтерского и налогового учетов. В этой связи предлагается следующий алгоритм расчета чистой прибыли, который является основным элементом предлагаемой системы поддержки принятия решений.

1. Выручка от реализации, равная суммарной стоимости всех видов реализованной продукции, рассчитывается по формуле

$$R = \sum_{k=1}^K M_k \cdot V_k \cdot P_k,$$

где M_k – количество АОПФ k -го вида, необходимое для реализации проекта; V_k – производительность единицы АОПФ k -го вида; P_k – стоимость единицы продукции, произведенной на АОПФ k -го вида.

Каждый вид АОПФ соответствует виду продукции, производимой в рамках реализации инвестиционного проекта.

2. Амортизационные отчисления рассчитываются на основе данных предыдущего этапа:

$$Am = \sum_{k=1}^K Am_k \cdot M_k,$$

где Am_k – сумма амортизационных отчислений за период реализации проекта на единицу АОПФ k -го вида, рассчитываемая на предварительном этапе.

3. Затраты на оборотные активы будут вычисляться по формуле

$$z = \sum_{k=1}^K z_k \cdot V_k \cdot M_k,$$

где z – суммарные затраты на оборотные активы за весь период реализации проекта; z_k – затраты на оборотные активы на единицу продукции, производимой на АОПФ k -го вида.

4. НДС рассчитывается следующим образом:

$$N_1 = \alpha_1 \cdot (R - \sum_{k=1}^K C_k \cdot M_k - z_k),$$

где N_1 – сумма НДС; C_k – стоимость единицы АОПФ k -го вида; α_1 – ставка НДС.

5. Налог на имущество вычисляется по формуле

$$N_2 = \sum_{k=1}^K N_{2_k} \cdot M_k,$$

где N_2 – суммарный налог на имущество за весь период реализации проекта; N_{2_k} – налог на имущество на единицу АОПФ k -го вида за период, рассчитываемый на предварительном этапе.

6. Фонд оплаты труда (ФОТ). Поскольку оценка проекта осуществляется «приростным методом», будем рассматривать только ФОТ для персонала, трудоустроенного дополнительно в связи с реализацией проекта. Рассчитывается по формуле

$$F = \sum_{k=1}^K F_k \cdot M_k,$$

где F – общий ФОТ за весь период реализации проекта; F_k – ФОТ на единицу k -го АОПФ, рассчитываемый на предварительном этапе.

7. ЕСН, рассчитывается с учетом регрессивной шкалы:

$$N_4 = \sum_{k=1}^K N_{4_k} \cdot M_k,$$

где N_4 – суммарный ЕСН за весь период реализации проекта; N_{4_k} – ЕСН на единицу АОПФ k -го вида за период, рассчитываемый на предварительном этапе.

8. Общие затраты (все затраты, включая налоги кроме НП, т. е. сумма амортизационных отчислений, ФОТ, материальных и инвестиционных затрат, НДС, НИ и ЕСН) рассчитываются по формуле

$$Z = Am + F + N_1 + N_2 + N_4 + z.$$

9. Балансовая прибыль (разница между выручкой от реализации и общими затратами) определяется по формуле

$$W_b = R - Z,$$

где W_b – балансовая прибыль по итогам проекта;

10. НП, равный произведению ставки НП на балансовую прибыль, вычисляется следующим образом:

$$N_3 = \alpha_3 W_b,$$

где α_3 – ставка налога на прибыль.

11. Чистая (нераспределенная) прибыль, т. е. это часть выручки от реализации, остающаяся в распоряжении предприятия после учета всех затрат и выплаты всех налогов, равная разности между балансовой прибылью и НП, рассчитывается по формуле

$$W_r = W_b - N_3,$$

где W_r – чистая прибыль по итогам проекта.

Следует отметить, что при расчете чистой прибыли в алгоритме учитываются налоги, составляющие основную налоговую нагрузку любого предприятия вне зависимости от сферы деятельности: налог на добавленную стоимость, налог на имущество, единый социальный налог и налог на прибыль. Также необходимо обратить внимание на то, что при использовании оптимизационно-имитационного метода моделирования инвестиционного процесса полученная модель будет иметь двухуровневую структуру и состоять из имитационного и оптимизационного этапов. Показатели, которые проблематично рассчитать на оптимизационном этапе, рассчитываются на имитационном. К таким показателям относятся стоимость АОПФ, налог на имущество, ЕСН, амортизационные отчисления.

На основе описанного алгоритма построена система поддержки принятия решений в области финансирования инвестиционных проектов [3].

Исходя из предложенного критерия эффективности и алгоритма, можно выделить основные факторы, влияющие на эффективность инвестиционного проекта:

- норма расходования нераспределенной прибыли, получаемой в ходе реализации проекта, на развитие самого проекта;
- цена на производимую продукцию;
- метод амортизации.

Необходимо отметить, что не только перечисленные факторы способны оказывать влияние на эффективность инвестиционного проекта. Она также будет меняться в случае изменения, например, ставок налогов, ставки дис-

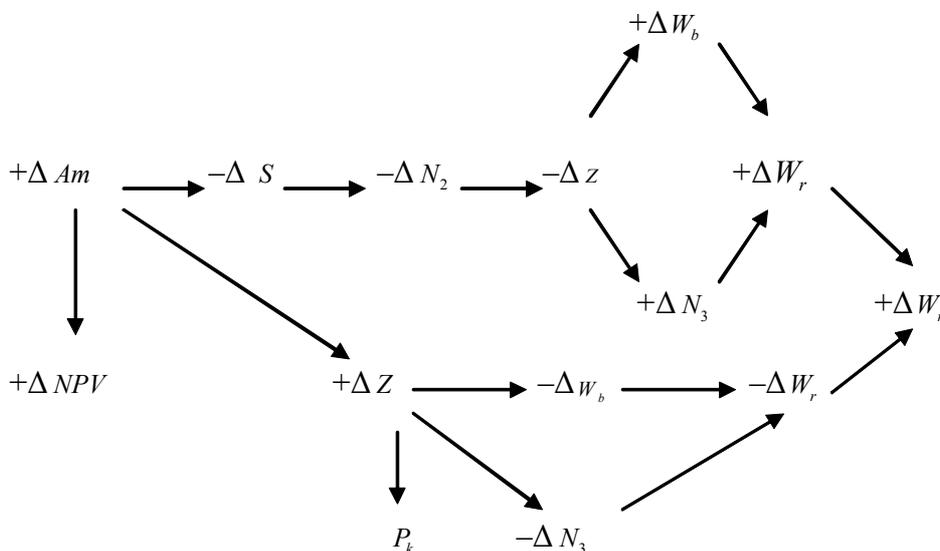
континирования, оборотных затрат, спроса на продукцию и т. д. Особенность данных факторов состоит в том, что предприятие, реализующее проект, имеет возможность воздействовать на них до начала проекта либо оперативно в ходе его осуществления.

Предприятие, реализующее проект, имеет возможность изменять норму расходования нераспределенной прибыли на развитие самого проекта, т. е. определять, какой процент нераспределенной прибыли будет инвестирован в проект в ходе его реализации. Увеличение нормы расходования нераспределенной прибыли будет увеличивать эффективность проекта, в случае если это позволяет сделать ограничение спроса на производимую продукцию.

Влияние такого фактора, как цена на производимую продукцию, на эффективность проекта неоднозначно. Поскольку изменение цены продукции воздействует на спрос, влияние цены продукции на эффективность будет зависеть от эластичности спроса на конкретный вид продукции, конкурентной позиции предприятия на рынке.

Использование нелинейного метода амортизации для тех объектов основных средств, для которых это возможно, также повышает эффективность проекта. На рисунке детально представлено, каким образом достигается данный эффект. Использование нелинейного метода повлечет за собой не только изменение налога на имущество N_2 , что было описано выше, но и увеличение амортизационных отчислений Am , которое двойственно влияет на NPV. С одной стороны, увеличение накопленной амортизации приводит к возрастанию совокупных затрат Z , тем самым сокращая балансовую прибыль W_b , совокупный налог на прибыль N_3 и, в конечном счете, чистую прибыль W_r , и уменьшая эффективность проекта.

С другой стороны, амортизационные отчисления непосредственно влияют на показатель NPV в сторону его увеличения. Таким образом, изменение величины амортизационных отчислений Am воздействует на NPV сразу в трех направлениях. Следовательно, при использовании нелинейного метода эффективность проекта будет увеличиваться, поскольку отрицательное воздействие амор-



Влияние амортизационных отчислений на эффективность инвестиционного проекта

тизационных отчислений на затраты будет компенсироваться, во-первых, положительным влиянием сокращения налога на имущество, и, во-вторых, непосредственным воздействием амортизационных отчислений на NPV.

Вследствие того, что увеличение амортизационных отчислений Am приведет к увеличению общих затрат Z , это отразится на цене продукции P_k в сторону ее увеличения, что, в свою очередь, вновь будет воздействовать на спрос. Поэтому то, насколько изменится в конечном счете показатель NPV в результате смены метода начисления амортизации, будет зависеть от эластичности спроса на конкретный вид продукции, конкурентной позиции предприятия на рынке.

Учет рассматриваемых факторов при подготовке проекта и в ходе его реализации делает возможным управление его эффективностью. При этом необходимо учитывать взаимодействие факторов друг с другом и изменение спроса на продукцию.

Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемая классификация методов моделирования инвестицион-

ных проектов и проведенный сравнительный анализ позволяют выбирать тот инструментарий, который в наибольшей степени будет соответствовать целевым установкам пользователя. Выделенные на основе алгоритма расчета чистой прибыли факторы эффективности инвестиционного проекта дают возможность управлять эффективностью проекта на стадии его планирования и в ходе реализации.

Библиографический список

1. Зимин, И. А. Реальные инвестиции / И. А. Зимин. М. : Тандем, 2000. 304 с.
2. Старик, Д. Э. Оценка эффективности инвестиционных проектов / Д. Э. Старик. Финансы. 2006. № 10. С. 70–72.
3. Конструктор и решатель дискретных задач оптимального управления («Карма») : программа для ЭВМ / правообладатели: А. В. Медведев, П. Н. Победаш, А. В. Смольянинов, М. А. Горбунов. Зарегистрировано Федер. службой по интелект. собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент) 11.09.2008, № 2008614387.

М. А. Gorbunov

THE METHODS OF MODELLING AND INVESTMENT PROJECTS EFFICIENCY FACTORS

The classification of methods of investment projects modeling, the comparative analysis of the given methods, advantages, lacks, directions of application are made in this case. On the basis of the developed calculation of enterprise net profit algorithm, the factors of efficiency of the investment project are displayed.

Keywords: the investment project, an estimation and the analysis of efficiency, modelling of the project.

© Горбунов М. А., 2009

УДК 519.68

А. Ю. Ворожейкин, Т. Н. Гончар, И. А. Панфилов, Е. А. Сопов, С. А. Сопов

ОБ ОДНОЙ МОДИФИКАЦИИ ВЕРОЯТНОСТНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ*

Представлен новый алгоритм решения сложных задач условной оптимизации, построенный на базе вероятностного генетического алгоритма с прогнозом сходимости. Представлены результаты исследования эффективности подхода в сравнении со стандартным генетическим алгоритмом условной оптимизации.

Ключевые слова: вероятностный генетический алгоритм, условная оптимизация.

Необходимость в разработке моделей сложных систем возникает в различных областях науки и техники: математике, экономике, медицине, управлении космическими аппаратами и др. При разработке моделей часто возникают задачи оптимизации, которые обладают такими свойствами, как

многоэкстремальность, многокритериальность, алгоритмическое задание функций, сложная конфигурация допустимой области, наличие нескольких типов переменных и т. д. Такие задачи не решаются с помощью классических процедур оптимизации, что приводит к необходимости разрабо-

* Данное исследование проводится при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (НИР НК136П/3), при поддержке гранта Президента РФ молодым кандидатам наук на 2009–2010 гг. (грант МК-2160.2009.9).

тывать и применять более эффективные и универсальные методы. К таким методам относятся, в частности, эволюционные алгоритмы (ЭА), доказавшие свою эффективность при решении многих сложных задач [1; 2].

Эффективность ЭА определяется тщательной настройкой и контролем их параметров. При произвольном выборе параметров неподготовленным пользователем эффективность алгоритма может быть как очень низкой, так и очень высокой, а его надежность изменяться от нуля до ста процентов для одной и той же задачи. В последние годы наблюдается тенденция развития эволюционных подходов, способных к самонастройке параметров за счет использования сложных гибридных схем, а также эффективных алгоритмов с меньшим числом параметров.

Одним из подходов, позволяющих уменьшить число настраиваемых параметров эволюционных алгоритмов, является применение вероятностных генетических алгоритмов, или ВГА [3; 4]. Их отличие от стандартного генетического алгоритма (ГА), в частности, состоит в том, что в них отсутствует оператор скрещивания, а новые решения получаются на основе статистической информации о поисковом пространстве. Таким образом, накапливая и используя эту информацию, данные алгоритмы самостоятельно могут адаптироваться к решаемой задаче.

ВГА показали свою эффективность и применимость к некоторым сложным задачам оптимизации [5; 6] и являются перспективными для дальнейшего изучения и совершенствования. Проблема исследования их специфических свойств на широком классе задач оптимизации, уменьшение количества настраиваемых параметров без потери эффективности является актуальной. Данная работа посвящена исследованию эффективности ВГА в сложных задачах условной оптимизации.

Вероятностный генетический алгоритм безусловной оптимизации. В процессе своей работы ГА накапливают и обрабатывают некоторую статистическую информацию о пространстве поиска, однако эта статистика в явном виде отсутствует. В ВГА предложен следующий способ представления накопленной ГА статистики: на текущей итерации в соответствие популяции решений ставится вектор вероятностей

$$P^k = (p_1^k, \dots, p_n^k), p_i^k = P(x_i^k = 1), i = \overline{1, n},$$

где p_i^k – вероятность присвоения i -й компоненте вектора решения X^k значения 1; k – номер итерации.

В общем виде работу алгоритма ВГА можно представить следующим образом.

1. Инициализировать случайным образом популяцию решений.

2. С помощью оператора селекции выбрать r наиболее пригодных индивидов текущей популяции (родителей). Вычислить вектор вероятностей по формуле

$$\bar{P} = (p_1, \dots, p_n),$$

$$p_j = P\{x_j = 1\} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_j^i, j = \overline{1, n},$$

где n – длина хромосомы; x_j^i – j -й бит i -го индивида.

3. В соответствии с распределением \bar{P} сформировать популяцию потомков.

4. Применить оператор мутации к популяции потомков.

5. Из популяции родителей и потомков сформировать новую популяцию.

6. Повторять шаги 2–5, пока не выполнится условие остановки.

Как отмечалось ранее, в процессе решения задачи алгоритм накапливает статистику о распределении нулей и единиц в популяции. В ходе проведения численных экспериментов было замечено, что зачастую компоненты вектора вероятностей \bar{P} сходятся к соответствующим значениям генов оптимального решения (рис. 1). Выбранная j -я компонента вектора вероятностей \bar{P} стремится к 1, поэтому, скорее всего, в бинарном представлении оптимального решения ген, стоящий на j -м месте, принимает значение равное 1. Это свойство можно использовать для прогнозирования оптимального решения.

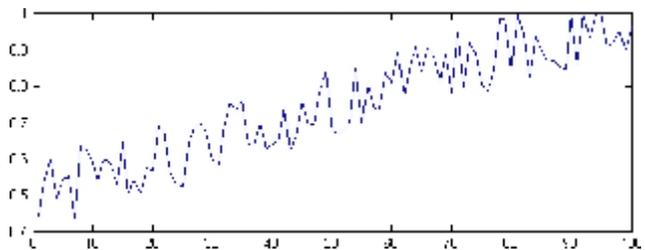


Рис. 1. Значения j -й компоненты вектора вероятностей в зависимости от номера поколения

В [3; 4] был предложен следующий алгоритм прогноза:

1. Для данной задачи выбрать определенную схему ВГА, определить число итераций $i = 1, \dots, I$ и число независимых запусков алгоритма $k = 1, \dots, K$.

2. Набрать статистику $(p_j)_i^k, j = 1, \dots, n$. Усреднить $(p_j)_i$ по k . Выявить тенденцию изменения компонент p_j .

3. Считать $x_j^{\text{opt}} = 1$, если $\sum_{i=1}^I ((p_j)_i - 0,5) > 0$, иначе $x_j^{\text{opt}} = 0$.

Основная идея данного алгоритма состоит в том, что чем чаще вероятность оказывается больше 0,5, тем вероятнее всего ген в оптимальном решении принимает значение, равное 1.

На практике возможна ситуация, когда в начале работы ВГА накоплено недостаточно информации о поисковом пространстве и значение j -го гена у большинства решений равно 0 (или 1). На более позднем поколении ВГА находит очень хорошее решение, у которого значение j -го гена отличное от ранее встречавшихся, и значения j -й компоненты вектора вероятностей начинают сходить к противоположному значению (рис. 2). Однако приведенный выше алгоритм прогноза вычислит значение гена, равное первоначальному, поскольку j -я компонента вектора вероятностей продолжительное время оставалась меньше 0,5 (или больше 0,5, если первоначально было значение 1).

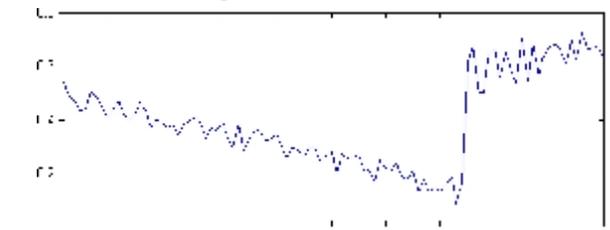


Рис. 2. Ситуация, когда прогноз может быть неверным

Таким образом, можно использовать следующую модификацию алгоритма прогноза.

1. Определить шаг прогноза K .

2. Через каждые K поколений по набранной статистике P_i , $i = \overline{1, N_K}$, $N_K = t \cdot K$, $t \in \{1, 2, \dots\}$ рассчитать изменение вектора вероятностей: $\Delta P_i = P_i - P_{i-1}$.

3. Каждому поколению придавать вес в зависимости от его номера: $\sigma_i = 2i/N_K (N_K + 1)$, $i = 1, \dots, N_K$.

4. Рассчитать взвешенное изменение вектора вероятностей по формуле $\Delta \tilde{P} = (\Delta \tilde{p}_j) = \sum_{i=1}^{N_K} \sigma_i \cdot \Delta \bar{P}_i$.

5. Рассчитать прогнозируемое оптимальное решение: $\bar{X}^{\text{opt}} = (x_j^{\text{opt}})$, где $x_j^{\text{opt}} = 1$, если $\Delta \tilde{p}_j \geq 0$, и $x_j^{\text{opt}} = 0$ иначе.

6. Добавить полученное решение в текущую рабочую популяцию и продолжить работу ВГА.

Основная идея данного алгоритма состоит в том, что вероятность на текущей популяции сравнивается с вероятностью на предыдущей популяции, а более поздние поколения (когда накоплено достаточно информации о поисковом пространстве) вносят больший вклад в прогноз оптимального значения гена, за счет выбора весовых коэффициентов. Весовые коэффициенты выбираются таким образом, что $\sigma_{i+1} > \sigma_i$ и $\sum_{i=1}^{N_K} \sigma_i = 1$.

Генетические алгоритмы условной оптимизации.

В общем случае в ГА и ВГА выбор индивида из популяции происходит в зависимости от его степени пригодности – чем индивид более пригоден, тем у него больше шансов быть отобранным, при этом механизм учета ограничений оптимизационной задачи отсутствует. Можно использовать несколько возможных методов непосредственного решения этой проблемы.

Пусть решается следующая задача условной однокритериальной оптимизации:

$$\begin{cases} f(x) \rightarrow \text{extr}; \\ g_j(x) \leq 0, j = \overline{1, r}, \\ h_j(x) = 0, j = \overline{r+1, m}. \end{cases}$$

В общем виде пригодность индивида x вычисляется по формуле

$$\text{fitness}(x) = f(x) + \delta \cdot \lambda(t) \cdot \sum_{j=1}^m f_j^\beta(x),$$

где t – номер текущего поколения; $\delta = 1$, если решается задача минимизации; $\delta = -1$, если решается задача максимизации; $f_j(x)$ – штраф за нарушение j -го ограничения; β – вещественное число. Штрафные функции $f_j(x)$ вычисляются по формуле

$$f_j(x) = \begin{cases} \max \{0, g_j(x)\}, j = \overline{1, r}; \\ |h_j(x)|, j = \overline{r+1, m}. \end{cases}$$

Известны следующие штрафные методы: метод «смертельных» штрафов, метод статических штрафов, метод динамических штрафов, метод адаптивных штрафов, а также гибридные методы, использующие механизм «лечения».

После детального анализа каждого метода было принято решение использовать метод динамических и адаптивных штрафов, так как альтернативные методы обладают рядом недостатков.

В частности, метод «смертельных» штрафов попросту отбрасывает недопустимые решения, тогда как они, находясь вблизи допустимой области, зачастую несут в себе полезную информацию для порождения новых допустимых решений. Метод статических штрафов использует много настраиваемых параметров, которые пользователь должен самостоятельно подобрать перед решением каждой задачи. Неверный выбор данных параметров может привести к тому, что допустимые решения не будут найдены. Гибридные методы, использующие механизм «лечения», применяют на каждом шаге ЭА локальный поиск для того, чтобы минимизировать значения штрафных функций. Это требует значительных дополнительных вычислительных ресурсов.

Метод динамических штрафов. Данный метод использует штрафные функции, описанные выше, и определяет функцию $\lambda(t)$ следующим образом:

$$\lambda(t) = (C \cdot t)^\alpha.$$

На t -й итерации пригодность индивида x вычисляется в данном методе по следующей формуле:

$$\text{fitness}(x) = f(x) + \delta \cdot (C \cdot t)^\alpha \cdot \sum_{i=1}^m f_i^\beta(x).$$

Параметры C , α , β подбираются индивидуально для каждой решаемой задачи. На практике рекомендованы значения $C = 0,5$; $\alpha = \beta = 2$ (получено экспериментальным путем).

Метод адаптивных штрафов. Этот метод также использует вышеописанные штрафные функции, функция $\lambda(t)$ вычисляется следующим образом:

$$\lambda(t+1) = \begin{cases} \beta_1 \cdot \lambda(t), & \text{если } \bar{b}^i \in D, \\ & \text{для всех } t-k+1 \leq i \leq t, \\ \beta_2 \cdot \lambda(t), & \text{если } \bar{b}^i \notin D, \\ & \text{для всех } t-k+1 \leq i \leq t, \\ \lambda(t), & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

где \bar{b}^i – лучший индивид i -й популяции, $\beta_1 \in (0, 1)$, $\beta_2 > 1$ и $\beta_1 \beta_2 \neq 1$. Здесь на $(t+1)$ -м шаге происходит уменьшение штрафа, если лучший индивид в течение k предыдущих поколений принадлежал допустимой области. Если же лучший индивид в течение того же промежутка времени выходил за границы допустимой области, то происходит увеличение штрафа.

Метод вводит три дополнительных параметра β_1 , β_2 , k . Таким образом, метод адаптивных штрафов штрафует недопустимых индивидов не только в соответствии с тем, насколько они сами нарушают ограничения, но и с учетом того, насколько ограничения нарушались их предшественниками [7].

Вероятностный ГА условной оптимизации. Для задач условной оптимизации использование методов штрафных функций сохраняет общую схему использования ВГА, основная разница состоит в способе оценки решений – иначе определяется функция пригодности индивида. Аналогичным образом на задачи условной оптимизации распространяется и метод прогноза оптимальных решений в ВГА. Для прогноза ВГА целесообразно при-

менять модифицированную процедуру прогноза, так как структура поверхности целевой функции «со штрафом» содержит большое число локальных оптимумов, и обычный прогноз на ранних итерациях вероятнее сойдется к локальному оптимуму, нежели к глобальному.

Численное исследование эффективности алгоритмов ГА и ВГА для задач условной оптимизации. Сравнение эффективности ГА и ВГА проводилось на множестве тестовых задач однокритериальной условной оптимизации. Целевые функции и ограничения в задачах представляют собой линейные и нелинейные функции нескольких переменных. Приведем здесь некоторые из задач, входящих в тестовый набор (табл. 1) [8].

Тестирование проводилось при наилучших и наихудших настройках параметров алгоритмов, для того чтобы установить диапазон влияния вносимых изменений на качество работы. Эти изменения могут и не улучшать

работу алгоритма при наилучших настройках, но могут улучшать их при наихудших настройках, что дает положительный эффект в условиях произвольного выбора настроек неподготовленным в области эволюционной оптимизации пользователем.

Поскольку алгоритмы являются стохастическими, то для каждой комбинации параметров исследуемые характеристики усреднялись по 100 независимым запускам алгоритма.

В качестве исследуемых характеристик были выбраны следующие:

- процент запусков (%), в которых было найдено точное оптимальное решение;
- средний номер итерации (N), на которой впервые было найдено точное оптимальное решение.

На первом этапе исследования был определен метод учета ограничений, который является наиболее эффек-

Таблица 1

Тестовые задачи условной однокритериальной оптимизации

Условие задачи	Известное решение
$z = x^2 + y^2 \rightarrow \max;$ $\begin{cases} y \leq 7 + \sin(2 \cdot x), \\ y \geq 1 - \sin(2 \cdot x), \\ x \in [0, 4] \end{cases}$	$x = 4,$ $y = 7,989\ 358\ 247,$ $z^* = 79,829\ 845\ 20$
$z = 5 \cdot x + 0,5 \cdot y \rightarrow \max;$ $\begin{cases} y \leq -2 \cdot x + 5, \\ y \geq x - 1,5, \\ y \leq 2 \cdot x + 1, \\ x \geq 0, \\ y \geq 0 \end{cases}$	$x = \frac{13}{6} = 2,166\ 66,$ $y = \frac{2}{3} = 0,666\ 66,$ $z^* = \frac{67}{6} = 11,166\ 666\ 67$
$z(x, y) = 2000x + 2400y \rightarrow \max;$ $\begin{cases} x \geq 0, \\ y \geq 0, \\ \frac{x}{120} + \frac{y}{110} \leq 1, \\ 4x + y \leq 320, \\ x + y \leq 110, \\ \frac{x}{340} + \frac{y}{120} \leq 1, \\ x + 2y \leq 160, \\ x + 4y \leq 280 \end{cases}$	$x = 50,$ $y = 55,$ $z_{\text{opt}} = 232\ 000$
$z = 20 + e - 20 \exp\left(-0,2 \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{N}}\right) - \exp\left(\sum_{i=1}^N \frac{\cos(2\pi \cdot x_i)}{N}\right) \rightarrow \min;$ $N = 4;$ $\begin{cases} 2x_1 - 3x_2 + 4x_3 \leq 10, \\ 4x_2 - 5x_3 + x_4 \leq 1, \\ 10x_1 + 7,5x_3 - 8,4x_4 \leq 3,5, \\ -3,1x_1 + 21,7x_2 - 36,4x_4 \leq 16,2 \end{cases}$	$x_i = 0, i = \overline{1, N},$ $z_{\text{opt}} = 0$
$z = \sum_{i=1}^N (0,1 \cdot x_i^2 - 4 \cos(0,8x_i) + 4) \rightarrow \min;$ $N = 2;$ $\begin{cases} x_1^2 + 9x_2^2 \leq 36, \\ 9x_1^2 + x_2^2 \leq 36 \end{cases}$	$x_i = 0, i = \overline{1, N},$ $z_{\text{opt}} = 0$

тивным для выбранного множества тестовых задач. В результате исследований было установлено, что для стандартного ГА при наилучших настройках динамический штраф оказывается эффективнее во всех случаях. При наихудших настройках динамический штраф эффективнее в 60 % случаев. В среднем, динамический штраф эффективнее адаптивного в 60 % случаев. Для ВГА динамический штраф оказывается эффективнее во всех случаях при наилучших и наихудших настройках.

Таким образом, было установлено, что для ГА и ВГА метод динамического штрафа является более эффективным, чем метод адаптивного штрафа.

На втором этапе исследования было проведено сравнение стандартного ГА и ВГА с использованием метода динамических штрафов для учета ограничений (табл. 2). При наилучших настройках стандартный ГА оказался эффективнее в 67 % случаев. Однако даже в тех случаях, когда ВГА уступает стандартному ГА, разница в эффективности незначительна. При наихудших и средних настройках наиболее эффективным оказался ВГА в 100 и 75 % случаев соответственно.

На третьем этапе исследования сравнивались стандартный ГА и ВГА с прогнозом (табл. 3). Было установлено, что при наилучших настройках ВГА с прогнозом в целом эффективнее ГА в 60 % случаев, а при наихудших настройках эффективнее в 67 % случаев. Кроме того, алгоритм с прогнозом находит оптимальное решение на более ранней стадии работы алгоритма.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы: для решения задач условной однокритериальной оптимизации ВГА более предпочтителен чем стандартный ГА, так как в среднем является более эффективным и при этом содержит меньшее число параметров для настройки, а алгоритм прогноза оптимального решения позволяет находить оптимальное решение на более ранней стадии работы алгоритма.

Библиографический список

1. Holland, J. H. Adaptation in natural and artificial systems / J. H. Holland. Ann Arbor, MI : University of Michigan Press, 1975.
2. Goldberg, D. E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning / D. E. Goldberg. Reading, MA : Addison-Wesley, 1989.
3. Сопов, Е. А. Вероятностный генетический алгоритм и его исследование // VII Королевские чтения. Т. 5. Самара : Изд-во Самар. науч. центра Рос. акад. наук, 2003. С. 38–39.
4. Сопов, Е. А. О вероятностном генетическом алгоритме. Современная техника и технологии. В 2-х т. Т. 2 / Е. А. Сопов // Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2004. С. 197–199.
5. Сопов, Е. А. Вероятностный генетический алгоритм с прогнозированием сходимости / Е. А. Сопов // Вестн. унив. комплекса. Красноярск : 2004. Вып 1 (15). С. 219–227.

Таблица 2

Сравнение эффективности ГА и ВГА для однокритериальной условной оптимизации с динамическим штрафом

Задача	Наилучшие настройки				Наихудшие настройки				Средняя эффективность			
	ГА		ВГА		ГА		ВГА		ГА		ВГА	
	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N
Линейная задача 1	76	31,05	64	32,81	12	16,83	14	14,14	41,78	27,67	40,22	26,2
Линейная задача 2	100	472,04	100	446,9	0	0	0	0	61,19	357,38	61,56	375,58
Нелинейная задача 1	58	32,28	66	32,39	8	25	24	18,25	34,22	28,95	41,33	26,49
Нелинейная задача 2	100	21,22	98	15,02	44	9,93	68	9,12	76,07	14,49	83,56	12,24
Нелинейная задача 3	20	18,8	68	29,94	0	0	22	13,64	7,41	19,45	40,89	24,68
Нелинейная задача 4	94	35,77	92	36,09	52	43,42	48	42,96	72,81	33,07	72,44	31,86
Растригина	100	54,4	100	33,4	5	10	100	76,92	56,85	58,32	100	48,22
Askley (and)	100	2,76	100	4,51	95	61,21	100	69,71	99,63	23,02	100	32,92
Askley (or)	100	1,94	100	3,79	100	63,04	100	42,24	100	12,57	100	13,41
Количество выигрышей	7	6	6	3	2	2	7	6	3	4	7	5
Процент выигрышей	53,85	66,67					77,78	75			70	55,56
Количество выигрышей по двум критериям	4		2		0		5		1		3	
Процент выигрышей по двум критериям	66,67						100				75	

6. Сопов, Е. А. Программная реализация вероятностного генетического алгоритма решения сложных задач оптимизации / Е. А. Сопов // М., 2004. Зарегистрировано во Всерос. науч.-техн. информ. центре, № 50200400501.

7. Michalewicz, Z. Genetic algorithms, numerical optimization and constraints / Z. Michalewicz // Proc. of the

Sixth Intern. Conf. on Genetic Algorithms and their Applications, Pittsburgh, PA, 1995.

8. Whitley, D. Building Better Test Functions / D. Whitley // Proc. of the Sixth Intern. Conf. on Genetic Algorithms and their Applications. Pittsburgh, PA, 1995. P. 239–247.

Таблица 3

Сравнение эффективности ГА и ВГА с прогнозом для однокритериальной условной оптимизации с динамическим штрафом

Функция	Наилучшие настройки				Наихудшие настройки				Средняя эффективность			
	ГА		ВГА (P)		ГА		ВГА (P)		ГА		ВГА (P)	
	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N
Линейная задача 1	76	31,05	48	34,29	12	16,83	22	24,64	41,78	27,67	39,33	32,8
Линейная задача 2	100	472,04	100	438,4	0	0	2	8	61,19	357,38	60	350,82
Нелинейная задача 1	58	32,28	46	23,96	8	25	0	0	34,22	28,95	21,78	19,49
Нелинейная задача 2	100	21,22	66	18,12	44	9,93	28	14,21	76,07	14,49	45,11	16,91
Нелинейная задача 3	20	18,8	34	29,47	0	0	0	0	7,41	19,45	17,33	21,45
Нелинейная задача 4	94	35,77	100	38,92	52	43,42	60	41,77	72,81	33,07	84,22	30,84
Растригина	100	54,4	100	32,36	5	10	98	55,22	56,85	58,32	99,78	47,82
Ackley (and)	100	2,76	100	3,06	95	61,21	100	50,57	99,63	23,02	100	29,74
Ackley (or)	100	1,94	100	3,47	100	63,04	100	56,65	100	12,57	100	15,58
Количество выигрышей	7	4	5	6	3	4	6	4	5	5	5	4
Процент выигрышей	58,33			60		50	66,67	50	50	55,56	50	
Количество выигрышей по двум критериям	2		3		2		4		1		2	
Процент выигрышей по двум критериям			60				66,67				66,67	

A. Yu. Vorozheikin, T. N. Gonchar, I. A. Panfilov, E. A. Sopov, S. A. Sopov

A MODIFIED PROBABILISTIC GENETIC ALGORITHM FOR COMPLEX CONSTRAINED OPTIMIZATION PROBLEMS

A new algorithm for complex constrained optimization problems based on the probabilistic genetic algorithm with optimal solution prediction is proposed. The efficiency investigation results in comparison with standard genetic algorithm are presented.

Keywords: probabilistic genetic algorithm, constrained optimization.

© Ворожейкин А. Ю., Гончар Т. Н., Панфилов И. А., Сопов Е. А., Сопов С. А., 2009

GRAPHIC INFORMATION PROCESSING USING INTELLIGENT ALGORITHMS

Finding an appropriate set of features is an essential problem in the design of a shape recognition system. This paper attempts to show that for recognition of objects with high shape variability such as handwritten characters and human faces it is preferable to use the modified artificial neural network to feed the system with processed images by novel scale- and rotation-invariant interest point detectors and descriptors and to rely on learning to extract the right set of features. Experiments have confirmed the usefulness of the modified artificial neural network in a real-world application.

Keywords: object recognition, detector-description-modified artificial neural network scheme.

The task of finding correspondences between two images of the same scene or object is part of many computer vision applications. Camera calibration, 3D reconstruction, image registration, and object recognition are just some of them. The search for discrete image correspondences can be divided into three main steps. First, “interest points” are selected at distinctive locations in the image, such as corners, blobs, and T-junctions. The most valuable property of an interest point detector is its repeatability, i. e. whether it reliably finds the same interest points under different viewing conditions. Next, the neighborhood of every interest point is represented by a feature vector. This descriptor has to be distinctive and, at the same time, robust to noise, detection errors, and geometric and photometric deformations. Finally, the descriptor vectors are matched between different images. The matching is often based on a distance between the vectors, e.g. the Mahalanobis or Euclidean distance. The dimension of the descriptor has a direct impact on the time this takes, and a lower number of dimensions are therefore desirable.

It has been our goal to choose both a detector and descriptor and develop a matching step based on modified artificial neural network, which in comparison to the state-of-the-art are faster in computing, while not sacrificing performance. In order to succeed, one has to strike a balance between the above requirements, like reducing the descriptor’s dimension and complexity, while keeping it sufficiently distinctive.

A wide variety of detectors and descriptors have already been proposed in researches (e.g. [1–6]). Also, detailed comparisons and evaluations on benchmarking datasets have been performed [7–9]. While constructing our fast detector and descriptor, we built on the insights gained from this previous work in order to get a feel for what are the aspects contributing to performance. In our experiments on benchmark image sets as well as on a real object recognition application, the resulting detector and descriptor are not only faster, but also more distinctive and equally repeatable.

When working with local features, a first issue that needs to be settled is the required level of invariance. This clearly, depends on the expected geometric and photometric deformations, which in turn are determined by the possible changes in viewing conditions. Here, we focus on scale and image rotation invariant detectors and descriptors. These seem to offer a good compromise between feature complexity and robustness to commonly occurring deformations. Skew, anisotropic scaling and perspective effects are assumed to

be second-order effects that are covered to some degree by the overall robustness of the descriptor. As also claimed by Lowe [2], the additional complexity of full affine-invariant features often has a negative impact on their robustness and does not pay off, unless really large viewpoint changes are to be expected. In quite a few applications, like mobile robot navigation or visual tourist guiding, the camera often only rotates about the vertical axis. The benefit of avoiding the overkill of rotation invariance in such cases is not only increased speed, but also increased discriminative power.

Related works. Our results are based on the following works.

Interest Point Detectors. The most widely used detector is, probably the Harris corner detector [10], proposed back in 1988, based on the eigenvalues of the second-moment matrix. However, Harris corners are not scale-invariant. Lindeberg introduced the concept of automatic scale selection [1]. This allowed the detection of interest points in an image, each with their own characteristic scale. He experimented with both the determinant of the Hessian matrix as well as the Laplacian (which corresponds to the trace of the Hessian matrix) to detect blob-like structures. Mikolajczyk and Schmid refined this method, creating robust and scale-invariant feature detectors with high repeatability, which they coined Harris-Laplace and Hessian-Laplace [11]. They used a (scale-adapted) Harris measure or the determinant of the Hessian matrix to select the location, and the Laplacian to select the scale. Focusing on speed, Lowe [12] approximated the Laplacian of Gaussian (LoG) by a Difference of Gaussians (DoG) filter.

Several other scale-invariant interest point detectors had been proposed. Examples are the salient region detector proposed by Kadir and Brady [13], which maximizes the entropy within the region, and the edge-based region detector proposed by Jurie et al. [14]. They seem less amenable to acceleration though. Also, several affine-invariant feature detectors have been proposed that can cope with longer viewpoint changes. However, these fall outside the scope of this paper.

By studying the existing detectors and from published comparisons [15; 8], we can conclude that (1) Hessian-based detectors are more stable and repeatable than their Harris-based counterparts. Using the determinant of the Hessian matrix rather than its trace (the Laplacian) seems more advantageous, as it fires less on elongated, ill-localized structures. Also, (2) approximations like the DoG can bring speed at a low cost in terms of lost accuracy.

Feature Descriptors. An even larger variety of feature descriptors has been proposed, like Gaussian derivatives [16], moment invariants [17], complex features [18; 19], steerable filters [20], phase-based local features [21], and descriptors representing the distribution of smaller-scale features within the interest point neighborhood. The latter, introduced by Lowe [2], have been shown to outperform the others [7]. This can be explained by the fact that they capture a substantial amount of information about the spatial intensity patterns, while at the same time being robust to small deformations or localization errors. The descriptor in [2], called SIFT for short, computes a histogram of local oriented gradients around the interest point and stores the bins in a 128-dimensional vector (8 orientation bins for each of the 4×4 location bins).

Various refinements on this basic scheme have been proposed. Ke and Sukthankar [4] applied PCA on the gradient image. This PCA-SIFT yields a 36-dimensional descriptor which is fast for matching, but proved to be less distinctive than SIFT in a second comparative study by Mikolajczyk et al. [8] and slower feature computation reduces the effect of fast matching. In the same paper [8], the authors have proposed a variant of SIFT, called GLOH, which proved to be even more distinctive with the same number of dimensions. However, GLOH is computationally more expensive.

The SIFT descriptor still seems to be the most appealing descriptor for practical uses, and hence also the most widely used nowadays. It is distinctive and relatively fast, which is crucial for on-line applications. Recently, Se et al. [22] implemented SIFT on a Field Programmable Gate Array (FPGA) and improved its speed by an order of magnitude. However, the high dimensionality of the descriptor is a drawback of SIFT at the matching step. For on-line applications on a regular PC, each one of the three steps (detection, description, matching) should be faster still. Lowe proposed a best-bin-first alternative [2] in order to speed up the matching step, but this leads to lower accuracy.

Approach. We use a novel detector-descriptor scheme and modified artificial neural network not only for matching step but also for classification and recognition. The detector is based on the Hessian matrix [11; 1], but uses a basic approximation; just as DoG [2] is a basic Laplacian-based detector. It relies on integral images to reduce the computation time and we therefore call it the “Fast-Hessian” detector. The descriptor, on the other hand, describes a distribution of Haar-wavelet responses within the interest point neighborhood. Again, we exploit integral images for speed. Moreover, only 64 dimensions are used, reducing the time for feature computation and matching, and increasing simultaneously the robustness. The matching is carried out using a modified artificial neural network, which increases not only the matching speed, but also the robustness of the descriptor.

In order to make the paper self-contained, we succinctly discussed the concept of integral images, as defined by [23]. They allow the fast implementation of box type convolution filters. The entry of an integral image $I_\Sigma(X)$ at a location $X = (x, y)$ represents the sum of all pixels in the input image I of a rectangular region formed by the point X and the origin,

$$I_\Sigma(X) = \sum_{i=0}^x \sum_{j=0}^y I(i, j). \text{ With } I_\Sigma \text{ calculated, it only takes four}$$

additions to calculate the sum of the intensities over any upright, rectangular area, independent of its size.

The Fast-Hessian Detector. Our detector is based on the Hessian matrix because of its good performance in computing time and accuracy. However, rather than using a different measures for selecting the location and the scale (as was done in the Hessian-Laplace detector [11]), we rely on the determinant of the Hessian for both. Given a point $X = (x, y)$ in an image I , the Hessian matrix $H(x, \sigma)$ in X at scale σ is defined as follows:

$$H(X, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(X, \sigma) & L_{yx}(X, \sigma) \\ L_{xy}(X, \sigma) & L_{yy}(X, \sigma) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

where $L_{xx}(x, \sigma)$ is the convolution of the Gaussian second order derivative $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$ with the image I in point X , and similarly for $L_{yy}(x, \sigma)$ and $L_{xy}(x, \sigma)$.

Gaussians are optimal for scale-space analysis, as shown in [24]. In practice, however, they need to be discredited and cropped (Fig. 1 left half), and even with Gaussian filters aliasing still occurs as soon as the resulting images are sub-sampled. Also, the property that no new structures can appear while going to lower resolutions may have been proven in the 1D case, but are known to not apply in the relevant 2D case [25]. Hence, the importance of the Gaussian seems to have been somewhat overrated in this regard, and here we test a simpler alternative. As Gaussian filters are not ideal in any case, and given Lowe’s success with LoG approximations, we push the approximation even further with box filters (Fig. 1 right half). These approximate second order Gaussian derivatives, and can be evaluated very fast using integral images, independently of size.

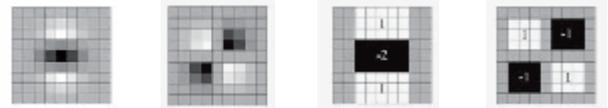


Fig. 1. Left to right: the (discredited and cropped) Gaussian second order partial derivatives in y -direction and xy -direction, and our approximations thereof using box filters. The grey regions are equal to zero

The 9×9 box filters in Figure 1 are approximations for Gaussian second order derivatives with $\sigma = 1.2$ and represent our lowest scale (i. e. highest spatial resolution). We denote our approximations by D_{xx} , D_{yy} , and D_{xy} . The weights applied to the rectangular regions are kept simple for computational efficiency, but we need to further balance the relative weights in the expression for the

Hessian’s determinant with $\frac{|L_{xy}(1,2)|_F}{|L_{xx}(1,2)|_F} \frac{|D_{xx}(9)|_F}{|D_{xy}(9)|_F}$, where $|x|_F$ is the Frobenius norm. This yields

$$\det(H_{\text{approx}}) = D_{xx}D_{yy} - (0,9D_{xy})^2. \quad (2)$$

Furthermore, the filter responses are normalized with respect to the mask size. This guarantees a constant Frobenius norm for any filter size.

Scale spaces are usually implemented as image pyramids. The images are repeatedly smoothed with a Gaussian and subsequently sub-sampled in order to achieve a higher level of the pyramid. Due to the use of box filters and integral

images, we do not have to iteratively apply the same filter to the output of a previously filtered layer, but instead can apply such filters of any size at exactly the same speed directly on the original image, and even in parallel (although the latter is not exploited here). Therefore, the scale space is analyzed by up-scaling the filter size rather than iteratively reducing the image size. The output of the above 9×9 filter is considered as the initial scale layer, to which we will refer as scale $s = 1.2$ (corresponding to Gaussian derivatives with $\sigma = 1.2$). The following layers are obtained by filtering the image with gradually bigger masks, taking into account the discrete nature of integral images and the specific structure of our filters. Specifically, this results in filters of size 9×9 , 15×15 , 21×21 , 27×27 , etc. At larger scales, the step between consecutive filter sizes should also scale accordingly. Hence, for each new octave, the filter size increase is doubled (going from 6 to 12 to 24). Simultaneously, the sampling intervals for the extraction of the interest points can be doubled as well.

As the ratios of our filter layout remain constant after scaling, the approximated Gaussian derivatives scale accordingly. Thus, for example, our 27×27 filter corresponds to $\sigma = 3 \times 1.2 = 3.6 = s$. Furthermore, as the Frobenius norm remains constant for our filters, they are already scale normalized [26]. In order to localize interest points in the image and over scales, nonmaximum suppression in a $3 \times 3 \times 3$ neighborhood is applied. The maxima of the determinant of the Hessian matrix are then interpolated in scale and image space with the method proposed by Brown et al. [27]. Scale space interpolation is especially important in our case, as the difference in scale between the first layers of every octave is relatively large.

The Descriptor. The good performance of SIFT compared to other descriptors [8] is remarkable. Its mixing of crudely localized information and the distribution of gradient related features seems to yield good distinctive power while fending off the effects of localization errors in terms of scale or space. Using relative strengths and orientations of gradients reduces the effect of photometric changes.

The proposed descriptor is based on similar properties, with a complexity stripped down even further. The first step consists of fixing a reproducible orientation a square region aligned to the selected orientation, and extract the descriptor from it. These two steps are now explained in turn.

Orientation Assignment. In order to be invariant to rotation, we identify a reproducible orientation for the interest points. For that purpose, we first calculate the Haar Wavelet responses in x and y direction, shown in Figure 2, and this in a circular neighborhood of radius $6s$ around the interest point, with s the scale at which the interest point was detected. Also the sampling step is scale dependent and chosen to be s . In keeping with the rest, also the wavelet responses are computed at that current scale s . Accordingly, at high scales the size of the wavelets is big. Therefore, we use again integral images for fast filtering. Only six operations are needed to compute the response in x or y direction at any scale. The side length of the wavelets is $4s$.

Once the wavelet responses are calculated and weighted with a Gaussian ($\sigma = 2.5s$) centered at the interest point, the responses are represented as vectors in a space with the horizontal response strength along the abscissa and the vertical response strength along the ordinate. The dominant

orientation is estimated by calculating the sum of all responses within a sliding orientation window covering an angle of $\pi/3$. The horizontal and vertical responses within the window are summed. The two summed responses then yield a new vector. The longest such vector lends its orientation to the interest point. The size of the sliding window is a parameter, which has been chosen experimentally. Small sizes fire on single dominating wavelet responses, large sizes yield maxima in vector length that are not outspoken. Both result in an unstable orientation of the interest region.

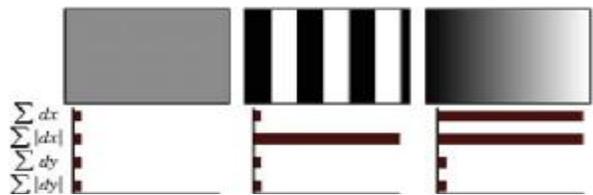


Fig. 2. The descriptor entries of a sub-region represent the nature of the underlying intensity pattern. Left: In case of a homogeneous region, all values are relatively low. Middle: In presence of frequencies in x direction, the value of $\Sigma|d_x|$ is high, but all others remain low. If the intensity is gradually increasing in x direction, both values Σd_x and $\Sigma|d_x|$ are high

Descriptor Components. For the extraction of the descriptor, the first step consists of constructing a square region centered on the interest point, and oriented along the orientation selected in the previous section. The size of this window is $20s$.

The region is split up regularly into smaller 4×4 square sub-regions. This keeps important spatial information in. For each sub-region, we compute a few simple features at 5×5 regularly spaced sample points. For reasons of simplicity, we call d_x the Haar wavelet response in horizontal direction and d_y the Haar wavelet response in vertical direction (filter size $2s$). “Horizontal” and “vertical” here is defined in relation to the selected interest point orientation. To increase the robustness towards geometric deformations and localization errors, the responses d_x and d_y are first weighted with a Gaussian ($y = 3.3s$) centered at the interest point.

Then, the wavelet responses d_x and d_y are summed up over each sub-region and form a first set of entries to the feature vector. In order to bring in information about the polarity of the intensity changes, we also extract the sum of the absolute values of the responses, $|d_x|$ and $|d_y|$. Hence, each sub-region has a four-dimensional descriptor vector v for its underlying intensity structure $v = (d_x, d_y, |d_x|, |d_y|)$. This results in a descriptor vector for all 4×4 sub-regions of length 64. The wavelet responses are invariant to a bias in illumination (offset). Invariance to contrast (a scale factor) is achieved by turning the descriptor into a unit vector.

Figure 2 shows the properties of the descriptor for three distinctively different image intensity patterns within a sub-region. One can imagine combinations of such local intensity patterns, resulting in a distinctive descriptor.

In order to arrive at these descriptors, we experimented with fewer and more wavelet features, using d_x^2 and d_y^2 , higher-order wavelets, PCA, median values, average values, etc. From a thorough evaluation, the proposed sets turned

out to perform best. We then varied the number of sample points and sub-regions. The 4×4 sub-region division solution provided the best results. Considering finer subdivisions appeared to be less robust and would increase matching times too much.

Experimental Results. The modified neural network [28] solves practical tasks in various subject fields. To investigate the generality of the detector-descriptor-modified artificial neural network scheme we solved object recognition tasks (handwritten digits, human faces). This section reports the results of numerical experiments which indicate, that the modified neural network with detector-descriptor scheme as preprocessing step has appropriate generalization accuracy.

MNIST. The MNIST database of handwritten digits has a training set of 60,000 examples, and a test set of 10,000 examples. It is a subset of a larger set available from NIST. The digits have been size-normalized and centered in a fixed-size image. The 60,000 pattern training set contains examples from approximately 250 writers.

Many methods had been tested with this training set and test set (Table 1). Some of those experiments used a version of the database where the input images were deskewed (by computing the principal axis of the shape that is closest to the vertical, and shifting the lines so as to make it vertical). In some other experiments, the training set was augmented with artificially distorted versions of the original training samples. The distortions are random combinations of shifts, scaling, skewing, and compression. First we obtain database using detector-descriptor scheme on the MNIST database. For detector and descriptor we using the testing software provided by Mikolajczyk (URL : <http://www.robots.ox.ac.uk/vgg/research/affine/>). The matching is carried out as follows. There were 1 000 2-layer modified artificial neural networks (33 hidden units: 30 and 3 units at 1st and 2nd hidden layer respectively) trained on the preprocessing MNIST database. The best test error 0,8 %.

The preprocessing step with detector-descriptor scheme reduced test error of modified artificial neural network from 1.7 to 0.8 %.

The Yale Face Dataset. The Yale face databases were used in our experiments. The Yale face database1 contains 165 gray scale images of 15 individuals, each individual has 11 images. The images demonstrate variations in lighting condition, facial expression (normal, happy, sad, sleepy, surprised, and wink).

For the vector-based approaches, the image is represented as a 1 024-dimensional vector, while for the tensor-based approaches the image is represented as a (32×32) -dimensional matrix, or the second order tensor. The image set is then partitioned into the gallery and probe set with different numbers. For ease of representation, Gm/Pn means m images per person are randomly selected for training and the remaining n images are for testing.

First we obtain database using detector-descriptor scheme on the Yale database. For detector and descriptor we using the testing software provided by Mikolajczyk. The matching is carried out as follows. There were 1 000 2-layer modified artificial neural networks (168 hidden units: 165 and 3 units at 1st and 2nd hidden layer respectively) trained on the preprocessing Yale database. Each neuron on hidden layer was trained to identify the person. Table 2 summarizes the performance of algorithms compared at Yale data base [29]. For each Gp/Pq, the results average over 20 random splits and report the mean as well as the standard deviation.

Experimental results show that the detector-descriptor scheme as preprocessing step improve performance of modified artificial neural network significantly and detector-descriptor-modified artificial neural network scheme outperforms the ordinary subspace learning algorithms.

We have investigated detector-descriptor-modified artificial neural network scheme which fulfills the optimal complex and cross-validated model. Our analysis was based on object recognition and classification tasks. The modified

Table 1

Neural network results on MNIST

CLASSIFIER	Preprocessing	TEST ERROR RATE (%)	Reference
2-layer NN, 300 hidden units, mean square error	none	4.7	HLeCun et al. HH, 1998
2-layer NN, 300 HU, MSE, (distortions)	none	3.6	HLeCun et al. HH, 1998
2-layer NN, 300 HU	deskewing	1.6	HLeCun et al. HH, 1998
2-layer NN, 800 HU, cross-entropy (elastic distortions)	none	0.7	Simard et al., ICDAR, 2003
Convolutional net, cross-entropy [elastic distortions]	none	0.4	Simard et al., ICDAR, 2003
3-layer NN, 500+300 HU, softmax, cross entropy, weight decay	none	1.53	HHinton, unpublished, 2005
NN, 784-500-500-2000-30 + nearest neighbor, RBM + NCA training (no distortions)	none	1.00	Salakhutdinov and Hinton, AI-Stats, 2007
modified artificial neural network, 2 hidden layers, 33 HU	none	1.7	Engel, 2009
modified artificial neural network, 2 hidden layers, 33 HU	detector-descriptor scheme	0.8	Engel, 2009

neural network applied to solved tasks in different domains. Experimental results show that:

- the detector-descriptor-modified artificial neural network scheme effectively solves practical tasks of various subject fields and consistently outperforms the popular learning algorithms and advisable to gain extra prediction accuracy;
- the detector-descriptor scheme as preprocessing step improve performance of modified artificial neural network significantly;
- the detector-descriptor-modified artificial neural network scheme have done well to predict performance.

The bibliographic list

1. Lindeberg, T. Feature detection with automatic scale selection / T. Lindeberg // Intern. J. on Computer Vision. 1998. Vol. 30. № 2. P. 79–116.
2. Lowe, D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints, cascade filtering approach / D. Lowe // Intern. J. on Computer Vision. 2004. Vol. 60. № 2. P. 91–110.
3. Mikolajczyk, K. An affine invariant interest point detector / K. Mikolajczyk, C. Schmid // Proc. of the Europ. Conf. on Computer Vision (ECCV). 2002. P. 128–142.
4. Ke, Y. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors / Y. Ke, R. Sukthankar // Proc. of the Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2004. № 2. P. 506–513.
5. Tuytelaars, T. Wide baseline stereo based on local, affinely invariant regions // T. Tuytelaars, L. Van Gool // Proc. of the British Machine Vision Conf. (BMVC). 2000. P. 412–422.
6. Matas, J. Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions / J. Matas, O. M. U. Chum, T. Pajdla // Proc. of BMVC. 2002. P. 384–393.
7. Mikolajczyk, K. A performance evaluation of local descriptors / K. Mikolajczyk, C. Schmid // Proc. of CVPR. 2003. Vol. 2. P. 257–263.
8. Mikolajczyk, K. A performance evaluation of local descriptors / K. Mikolajczyk, C. Schmid // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI). 2005. Vol. 27. P. 1615–1630.
9. A comparison of affine region detectors / K. Mikolajczyk [et al.] // Intern. J. on Computer Vision. 2005. Vol. 65. № 1/2. P. 43–72.
10. Harris, C. A combined corner and edge detector / C. Harris, M. Stephens // Proc. of the Alvey Vision Conf. 1988. P. 147–151.
11. Mikolajczyk, K. Indexing based on scale invariant interest points / K. Mikolajczyk, C. Schmid // Proc. of the Intern. Conf. on Computer Vision (ICCV). 2001. Vol. 1. P. 525–531.
12. Lowe, D. Object recognition from local scale-invariant features / D. Lowe // Proc. of ICCV. 1999. Vol. 2. P. 1150–1157.
13. Kadir, T. Scale, saliency and image description / T. Kadir, M. Brady // Intern. J. on Computer Vision. 2001. Vol. 45. № 2. P. 83–105.
14. Jurie, F. Scale-invariant shape features for recognition of object categories / F. Jurie, C. Schmid // Proc. of the CVPR'04. 2004. Vol. 2. P. 90–96.
15. Mikolajczyk, K. Scale and affine invariant interest point detectors / K. Mikolajczyk, C. Schmid // Intern. J. on Computer Vision. 2004. Vol. 60. № 1. P. 63–86.
16. Florack, L. M. J. General intensity transformations and differential invariants / L. Florack [et al.] // J. of Math. Imaging and Vision. 1994. № 4. P. 171–187.
17. Mindru, F. Moment invariants for recognition under changing viewpoint and illumination / F. Mindru, T. Tuytelaars, L. Van Gool, T. Moons // Computer Vision and Image Understanding / 2004. Vol. 94. № 1–3. P. 3–27.
18. Baumberg, A. Reliable feature matching across widely separated views / A. Baumberg // Proc. of CVPR'00. 2000. Vol. 1 P. 774–781.
19. Schaffalitzky, F. Multi-view matching for unordered image sets, or “How do I organize my holiday snaps?” / F. Schaffalitzky, A. Zisserman // Proc. of ECCV. 2002. Vol. 1. P. 414–431.
20. Freeman, W. T. The design and use of steerable filters / W. T. Freeman, E. H. Adelson // IEEE Trans. PAMI. 1991. Vol. 13. P. 891–906.
21. Carneiro, G. Multi-scale phase-based local features / G. Carneiro, A. Jepson // Proc. of CVPR'03. 2003. Vol. 1. P. 736–743.

Table 2

Recognition accuracy on Yale (mean±std-dev %)

Method	G2/P9	G3/P8	G4/P7	G5/P6
Eigenface	46.0 ± 3.4	50.0 ± 3.5	55.7 ± 3.5	57.7 ± 3.8
Fisherface	45.7 ± 4.2	62.3 ± 4.5	73.0 ± 5.4	76.9 ± 3.2
2DLDA	43.4 ± 6.2	56.3 ± 4.7	63.5 ± 5.6	66.1 ± 4.8
S-LDA	57.6 ± 4.1	72.3 ± 4.4	77.8 ± 3.0	81.7 ± 3.2
Laplacianface	54.5 ± 5.2	67.2 ± 4.1	72.7 ± 4.2	75.8 ± 4.6
MFA	45.7 ± 4.2	62.3 ± 4.5	73.0 ± 5.4	76.9 ± 3.2
S-MFA	57.2 ± 4.3	71.2 ± 4.0	76.9 ± 3.1	81.1 ± 3.1
TensorPCA	49.4 ± 3.5	54.0 ± 3.0	57.8 ± 3.3	59.8 ± 3.9
S-LPP	57.9 ± 4.5	72.0 ± 4.0	76.0 ± 3.4	81.4 ± 2.9
S-NPE	57.5 ± 4.7	71.9 ± 3.9	77.0 ± 3.4	80.9 ± 3.5
Pixel space	n/a	n/a	84.0 ± 1.5	n/a
Noushath et al. 2006	n/a	n/a	85.0 ± 1.5	n/a
Wang et al. 2007	n/a	n/a	99.0 ± 0.5	n/a
Modified artificial neural network	58.1 ± 3.5	72.1 ± 3.0	77.3 ± 3.4	81.7 ± 3.4
Detector-descriptor-modified artificial neural network	67.2 ± 2.8	79.8 ± 2.7	86.5 ± 2.9	91.6 ± 2.8

22. Se, S. Vision based modeling and localization for planetary exploration rovers / S. Se, H. Ng, P. Jasiobedzki, T. Moyung // Proc. of 55th Intern. Astronautical Cong. 2004. P. 1–11.
23. Viola, P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P. Viola, M. Jones // Proc. of CVPR'01. 2001. Vol. 1. P. 511–518.
24. Koenderink, J. The structure of images / J. Koenderink // Biol. Cybernetics. 1984. Vol. 50. P. 363–370.
25. Lindeberg, T. Discrete Scale-Space Theory and the Scale-Space Primal Sketch : PhD thesis / T. Lindeberg. Stockholm, 1991.
26. Lindeberg, T. Real-time scale selection in hybrid multi-scale representations / T. Lindeberg, L. Bretzner // Proc. Scale-Space'03. 2003. P. 148–163.
27. Brown, M. Invariant features from interest point groups / M. Brown, D. Lowe // Proc. of BMVC. 2002. P. 656–665.
28. Engel E. A. Modified artificial neural network for information processing with the selection of essential connections : PhD thesis / E. A. Engel. Krasnoyarsk, 2004.
29. Cai, D. Learning a Spatially Smooth Subspace for Face Recognition / D. Cai, X. He, Y. Hu, J. Han, T. Huang // Proc. of CVPR'07. 2007. P. 1–8.

Е. А. Энгель

ОБРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ АЛГОРИТМАМИ

Основная проблема при построении системы распознавания образов – отыскание существенного набора свойств образа. Показано, что для распознавания объектов с высокой изменчивостью формы, таких как рукописные цифры и лица, целесообразно использовать модифицированную нейронную сеть с предварительной подготовкой изображения объекта детектором и дескриптором, инвариантных к масштабированию и повороту. Эксперименты подтверждают эффективность схемы детектор-дескриптор-модифицированная нейронная сеть в реальных приложениях.

Ключевые слова: распознавание образов, схема детектор-дескриптор-модифицированная нейронная сеть.

© Engel E. A., 2009

УДК 519.87

А. А. Городилов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрены вопросы хранения информации в динамических структурах данных как наиболее эффективном и адаптивном к изменениям самих структур способе их организации. Рассмотрена математическая модель, описывающая структуру и взаимосвязи данных предметной области, используя динамические структуры данных.

Ключевые слова: математические модели, информационные системы, разработка, динамические структуры данных.

В настоящее время происходит массовое внедрение автоматизированных информационных систем (АИС) обработки данных в различных организациях, что связано с ужесточением требований к оперативности и качеству обрабатываемой информации и увеличением объемов информации, которую им нужно обрабатывать. Также в настоящее время происходят различные изменения в бизнес-процессах организаций, законодательстве, документообороте и др.

При поддержке АИС, разработанных согласно стандартным принципам и нацеленным на удовлетворение текущих потребностей автоматизации, в подобных условиях возникает множество проблем, таких как необходимость постоянной адаптации АИС к изменяющимся ус-

ловиям, высокая стоимость поддержки АИС (40...100 % от первоначальной стоимости в год), потеря собранных данных в связи с изменениями документов.

Эти проблемы возможно решить, создавая АИС, использующие динамические структуры данных (АИСДСД) [1], характеризующиеся возможностью гибкой перестройки структуры без потерь существующей информации.

Динамические структуры данных характеризуются отсутствием физической смежности элементов в памяти, а их логическая структура не связана с последовательностью размещения на физическом уровне, непостоянством и непредсказуемостью размера (числа элементов) структуры в процессе ее обработки. Для установления связи между элементами структуры используются ука-

затели, через которые устанавливаются явные связи между справочниками. Такое представление данных в памяти называется связным. Как правило, элемент динамической структуры состоит из двух видов полей. Это поля данных, содержащие данные, ради которых и создается структура; поля связей, содержащие указатели, связывающие данный элемент с другими элементами структуры.

Существуют следующие виды динамических структур данных:

- список – упорядоченное множество, состоящее из переменного числа элементов;
- граф – сложная нелинейная многосвязная структура, характеризующаяся множеством связей между элементами;
- дерево – связанный ациклический граф (т. е. граф, в котором нет циклов) [2].

Использование динамических структур данных требует создания структурных математических моделей, описывающих структуру хранения данных предметной области, позволяющих изучить взаимосвязи между данными и наглядно их отобразить.

Структурная математическая модель динамических данных. Анализ данных предметной области выявил необходимость выделения следующих категорий информации [3]:

- «Фактографические данные» – данные об основной деятельности организации, описывают события и связанные с ними показатели, в данном случае это отчеты различных форм;
- «Справочные данные» – данные, описывающие внутренние или внешние сущности по отношению к организации и участвующие в транзакциях в качестве контекстной информации;
- «Показатели» – количественные характеристики внутренних или внешних сущностей;
- «Модель метаданных» – совокупность структур, хранящих все виды категорий информации в БД.

Для хранения данных предметной области в АИСДСД необходимо синтезировать структурную математическую модель метаданных, имеющую следующий вид:

$$M_{fd} = F(M_p, M_s),$$

где M_{fd} – модель фактографических данных; F – отображение фактографических данных на модели показателей и справочников; M_p – модель показателей; M_s – модель справочников.

Модель показателей можно представить в виде двух поэлементно связанных деревьев (рис. 1), первое дерево содержит категории показателей T_{pcat} , каждому элементу этого дерева можно присоединить дерево показателей, т. е. все элементы дерева показателей будут иметь ссылку на элемент дерева категорий показателей:

$$T_{pcat} = (X_{pcat}, \Gamma_{pcat}),$$

где X_{pcat} – множество категорий показателей; Γ_{pcat} – ребра дерева категорий показателей.

Каждый элемент множества категорий показателей $x_{pcat} \in X_{pcat}$ определяется следующим образом:

$$x_{pcat} = (xName, \Gamma_{pcat}^{-1} x_{pcat}, T_p),$$

где $xName$ – название категории; $\Gamma_{pcat}^{-1} x_{pcat}$ – родительская категория; T_p – дерево показателей.

Дерево показателей T_p можно определить следующим образом:

$$T_p = (X_p, \Gamma_p),$$

где X_p – множество показателей; Γ_p – ребра дерева показателей.

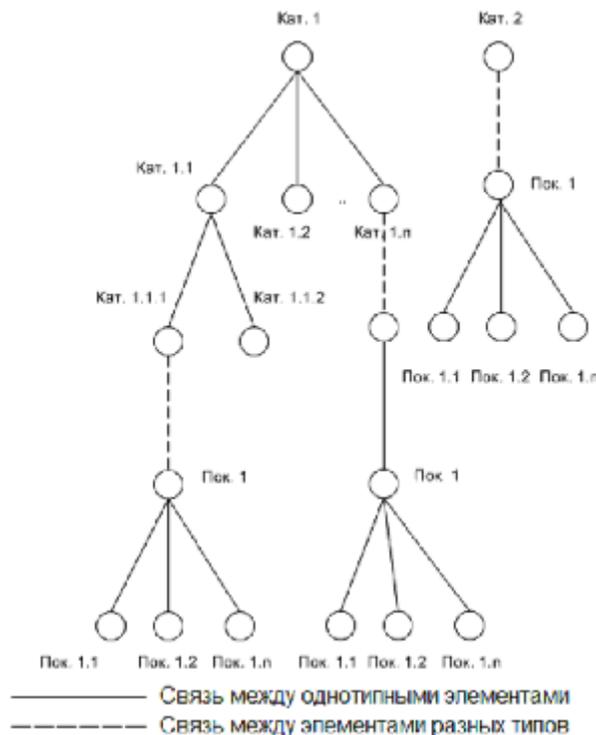


Рис. 1. Модель показателей

Каждый элемент множества показателей $x_p \in X_p$ определяется следующим образом:

$$x_p = (xName, x_{pcat}, xType, \Gamma_p^{-1} x_p), \quad (1)$$

где $xName$ – название показателя; x_{pcat} – категория показателя; $xType$ – тип показателя; $\Gamma_p^{-1} x_p$ – родитель показателя.

Модель справочников M_s представляет собой дерево категорий справочников (Кат.), к каждому элементу которого может быть присоединено подмножество элементов ориентированного графа взаимосвязанных справочников (Спр.) (рис. 2):

$$M_s = (S_{scat}, \Gamma_{scat}),$$

где S_{scat} – множество категорий справочников; Γ_{scat} – ребра графа категорий справочников.

Каждая сущность множества категорий справочников $s_{scat} \in S_{scat}$ определяется следующим образом:

$$s_{scat} = (sName, \Gamma_{scat}^{-1} s_{scat}, S_{ref}),$$

где $sName$ – название категории справочника; $\Gamma_{scat}^{-1} s_{scat}$ – родительская категория справочника, S_{ref} – подмножество взаимосвязанных справочников.

Граф взаимосвязанных справочников определяется так:

$$G_{ref} = (S_{ref}, \Gamma_{ref}),$$

где S_{ref} – множество справочников; Γ_{ref} – ребра графа справочников.

Каждая сущность множества справочников $s_{ref} \in S_{ref}$ определяется следующим образом:

$$s_{ref} = (srName, s_{scat}, S_f, S_{val}, S_{fref}, S_{rec}, L_{ref}, L_{refrec}), \quad (2)$$

где $srName$ – название справочника; s_{scat} – категория справочника; S_f – множество полей справочника; S_{val} – множество значений справочника; S_{fref} – множество подстановочных полей справочника, значения которых берутся из других справочников; S_{rec} – множество записей справочника; L_{ref} – множество связей между справочниками; L_{refrec} – множество связей между записями справочника.

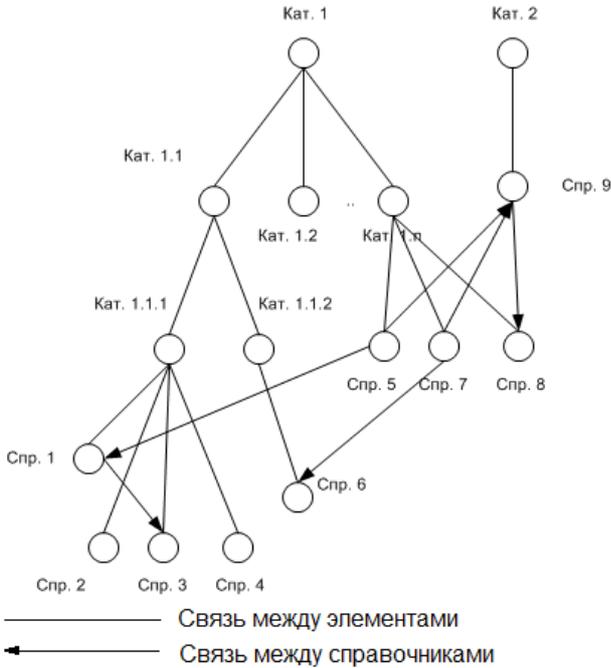


Рис. 2. Модель справочников

Каждая сущность множества полей справочника $s_f \in S_f$ определяется следующим образом:

$$s_f = (fName, s_{ref}, fieldType),$$

где $fName$ – название поля; s_{ref} – справочник, которому принадлежит поле; $fieldType$ – тип поля.

Каждая сущность множества записей справочника $s_{rec} \in S_{rec}$ определяется следующим образом:

$$s_{rec} = (recnum, s_{ref}),$$

где $recnum$ – номер записи; s_{ref} – справочник которому принадлежит запись.

Каждая сущность множества значений справочника $s_{val} \in S_{val}$ определяется следующим образом:

$$s_{val} = (value, s_f, s_{rec}), \quad (3)$$

где $value$ – значение справочника; s_f – поле справочника, к которому относится значение; s_{rec} – запись справочника, к которому относится значение.

Связи между справочниками определяются множеством L_{ref} , каждый элемент $l_{ref} \in L_{ref}$ определяется следующим образом:

$$l_{ref} = (s_{refch}, s_{refpar}, s_f),$$

где s_{refch} – дочерний справочник; s_{refpar} – родительский справочник; s_f – поле связи справочника, отображаемое в дочернем справочнике.

Каждая сущность множества подстановочных полей справочника $s_{fref} \in S_{fref}$ определяется следующим образом:

$$s_{fref} = (frefName, s_{refpar}, s_{refch}, l_{ref}),$$

где $frefName$ – название поля; s_{refpar} – справочник, которому принадлежит подстановочное поле; s_{refch} – справочник, в котором отображается подстановочное поле; l_{ref} – связь, согласно которой происходит подстановка значения справочника.

Связи между записями справочников определяются множеством L_{refrec} , каждый элемент $l_{refrec} \in L_{refrec}$ определяется следующим образом:

$$l_{refrec} = (l_{ref}, s_{recpar}, s_{recch}),$$

где s_{refch} – запись дочернего справочника; s_{recpar} – запись родительского справочника; l_{ref} – связь между справочниками.

Отображение фактографических данных на моделях показателей и справочных данных. Отображение фактографических данных на моделях показателей и справочных данных в общем случае представляет собой структуру связей между фактографическими данными, показателями и значениями справочников (рис. 3), являющимися множествами X_p и S_{val} . Множества X_p и S_{val} являются

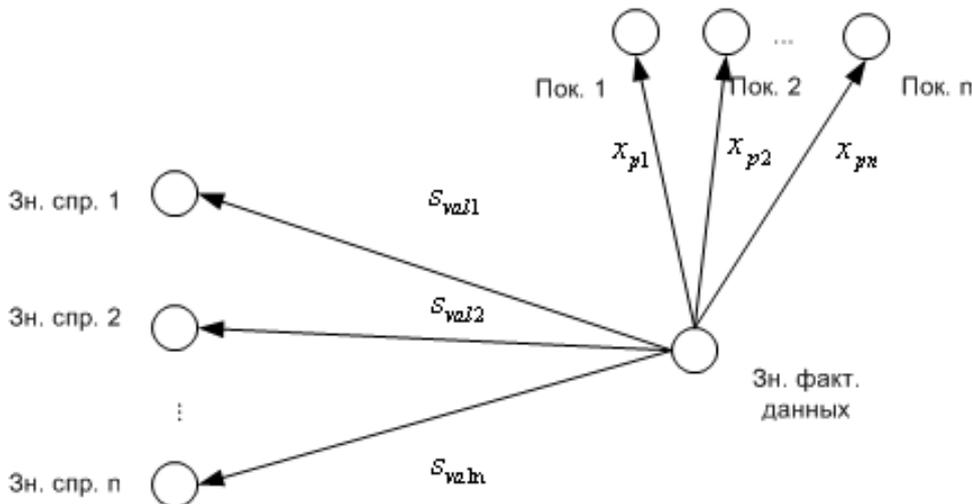


Рис. 3. Отображение фактографических данных

упорядоченными совокупностями показателей и значений справочников, с которыми связаны фактографические данные.

Отображение фактографических данных можно представить в виде вектора s_{fval}

$$s_{fval} = (value, X_p, S_{val}), \quad (4)$$

где $value$ – значение фактографического данного; X_p – множество показателей, определенных в формуле (1); S_{val} – множество значений справочников, определенных в формуле (3).

Структурная модель фактографических данных является следствием выявленных структур показателей и справочников и их взаимосвязей, определенных в формуле (4), с учетом вхождения выявленных структур в качестве элементов других структур фактографического документа.

Этот подход проиллюстрируем примером шаблона документа, состоящего из одного справочника и одного дерева показателей (рис. 4).

Сначала необходимо определить структуру фактографического документа в виде вектора

$$d = (dName, S_{leftref}, T_{pr}, S_{fval}),$$

где $dName$ – название документа; $S_{leftref}$ – множество значений справочника; T_{pr} – дерево показателей; S_{fval} – множество значений документа.

Каждый элемент множества значений справочников в левой части отчета $s_{leftref} \in S_{leftref}$ определяется следующим образом:

$$s_{leftref} = (d, s_{val}),$$

где d – документ, к которому принадлежит множество; s_{val} – значение справочника определенное в формуле (3).

Дерево показателей можно представить следующим образом:

$$T_{pr} = (X_{pr}, \Gamma_{pr}),$$

где X_{pr} – множество показателей; Γ_{pr} – ребра дерева показателей.

Каждый элемент множества показателей $x_{pr} \in X_{pr}$ определяется следующим образом:

$$x_p = (x_p, \Gamma_{pr}^{-1}x_{pr}, d),$$

где x_p – показатель, определенный в формуле (1); $\Gamma_{pr}^{-1}x_{pr}$ – родительский элемент в дереве показателей; d – документ, к которому принадлежит элементы дерева показателей.

Теперь необходимо определить структуру каждого элемента множества значений фактографических данных документа $s_{val} \in S_{val}$:

$$s_{val} = (value, x_p, s_{val}),$$

где $value$ – значение фактографического данного; x_p – показатель; s_{val} – значение справочника.

Согласно шаблону (см. рис. 4) можно создать документ, имеющий следующий вид (см. таблицу).

Документы, созданные на основании данного шаблона, могут иметь любое количество столбцов и строк.

Использование модели M_{fd} для описания структуры отчетов в АИС «Профобразование». В АИС «Профобразование» фактографическими данными являются отчеты, которые состоят из таблиц (рис. 5).

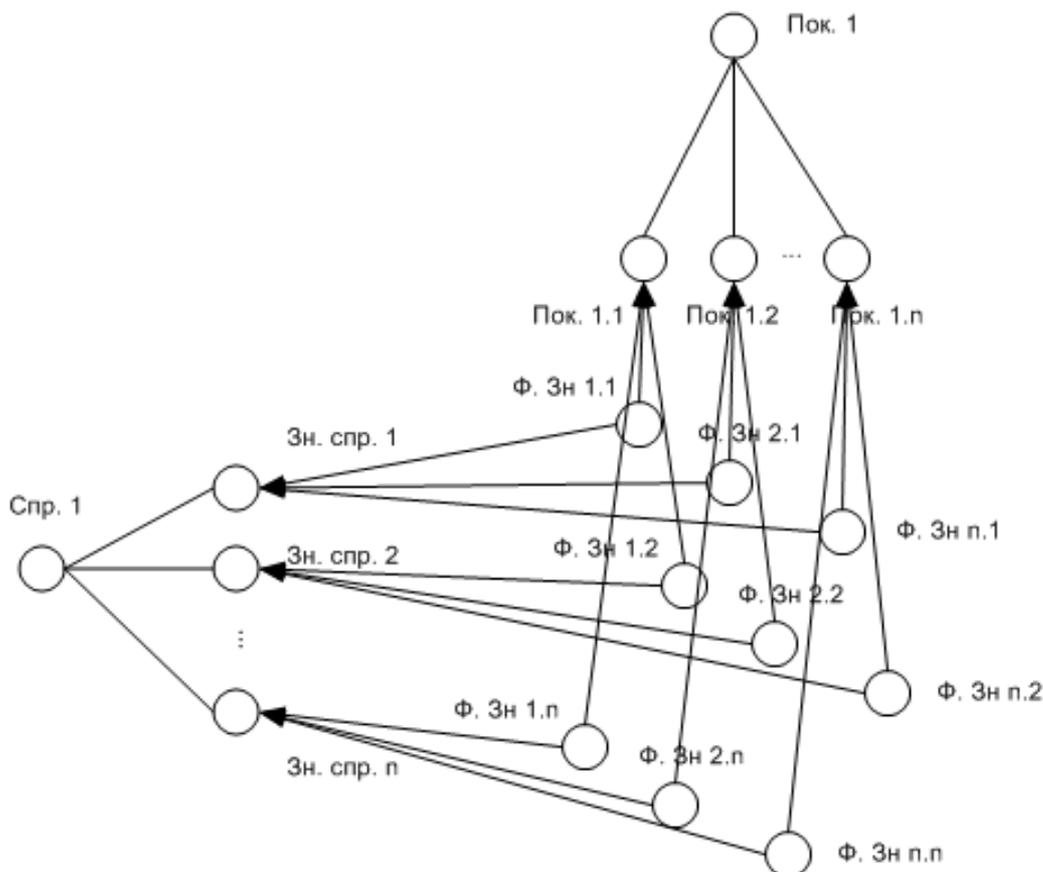


Рис. 4. Структурная модель документа, состоящего из одного справочника и одного дерева показателей

Таблица определяется следующим образом:

$$s_t = (xtName, S_{pleft}, T_{pright}, S_{oval}),$$

где $xtName$ – название таблицы отчета; S_{pleft} – множество показателей в левой части отчета; T_{pright} – дерево показателей в правой части отчета; S_{oval} – множество значений отчета.

Каждый элемент множества показателей в левой части отчета $s_{pleft} \in S_{pleft}$ определяется следующим образом:

$$s_{pleft} = (xpleftName, x_p, s_t, T_{ref}),$$

где $xpleftName$ – отображаемое название показателя; x_p – показатель, определенный в формуле (1); s_t – таблица отчета; T_{ref} – дерево значений справочников, присоединенное к показателю.

Дерево значений справочников можно представить следующим образом:

$$T_{ref} = (X_{ref}, \Gamma_{ref}),$$

где X_{ref} – множество значений справочников; Γ_{ref} – ребра дерева значений справочников.

Каждый элемент множества значений справочников, присоединенных к показателю $x_{ref} \in X_{ref}$, определяется следующим образом:

$$x_{ref} = (s_{val}, \Gamma_{ref}^{-1}x_{ref}, s_{pleft}),$$

где s_{val} – значение справочника, определенное в формуле (3); $\Gamma_{ref}^{-1}x_{ref}$ – родительское значение справочника, s_{pleft} – показатель, к которому прикреплен справочник.

Дерево показателей в правой части отчета можно представить следующим образом:

$$T_{pright} = (X_{pright}, \Gamma_{pright}),$$

где X_{pright} – множество показателей в правой части отчета; Γ_{pright} – ребра дерева показателей в правой части отчета.

Каждый элемент множества показателей в правой части отчета $x_{pright} \in X_{pright}$ определяется следующим образом:

$$x_{pright} = (xprightName, x_p, \Gamma_{pright}^{-1}x_{pright}, S_{refleft}),$$

где $xprightName$ – отображаемое название показателя; x_p – показатель, определенный в формуле (1); $\Gamma_{pright}^{-1}x_{pright}$ – родительский показатель; $S_{refleft}$ – множество значений справочника прикрепленных к показателю.

Каждый элемент множества значений справочника, прикрепленных к показателю $s_{refleft} \in S_{refleft}$, определяется следующим образом:

$$s_{refleft} = (s_{val}, x_{pright}, s_{ref}),$$

где s_{val} – значение справочника определенное в формуле (3); x_{pright} – показатель, к которому прикреплено значение справочника; s_{ref} – справочник, значение которого прикреплено к показателю, определено в формуле (2).

Каждый элемент множества значений отчета $s_{oval} \in S_{oval}$ определяется следующим образом:

$$s_{oval} = (xValue, s_{pleft}, x_{ref}, x_{pright}, s_{refleft}),$$

где $xValue$ – значение отчета; s_{pleft} – показатель в левой части отчета; x_{ref} – значение справочника в левой части отчета; x_{pright} – показатель в правой части отчета; $s_{refleft}$ – значение справочника, прикрепленного к показателю в правой части отчета.

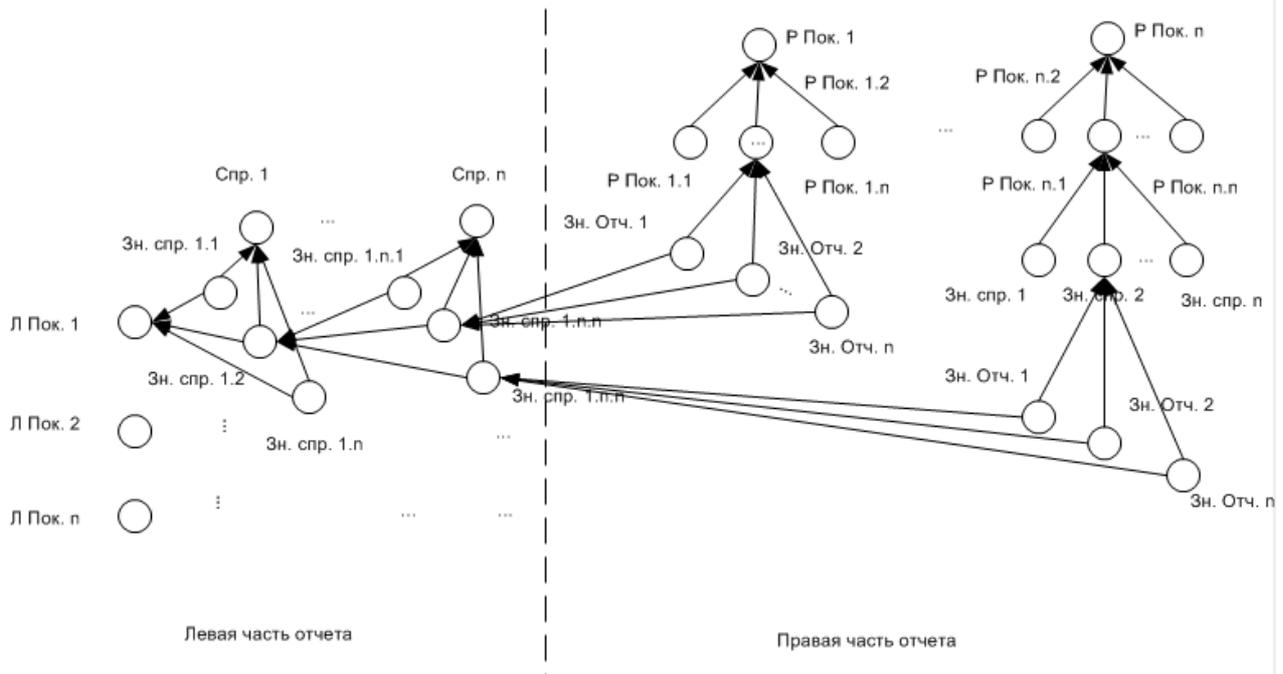


Рис. 5. Модель таблицы отчета АИС «Профобразование»

Пример документа, состоящего из одного справочника и одного дерева показателей

Специальность	Поступило	В том числе			...
		Вновь зачислено	Переведено из других учебных заведений	Возвратилось из числа ранее отчисленных	
220 305	10	6	2	2	...
220 408	16	10	3	3	...
...

Представление объектов предметной области с помощью динамических структур данных позволило создать гибкую и адаптируемую структурную математическую модель и логическую структуру БД, позволяющую создавать документы, имеющую структуру, необходимую пользователю системы.

Возможность и эффективность практического применения предлагаемых методов к проектированию АИСДСД апробирована на системе АИС «Профобразование», функционирующей в Красноярском крае, свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ [4–11].

Библиографический список

1. Полтавцев, М. А. Применение реляционных схем хранения слабоструктурированных данных в задачах автоматизации управленческой деятельностью / М. А. Полтавцев // Становление и развитие системы управления в России : сб. ст. Вып. 1 / Коми респ. акад. гос. службы и управления. Сыктывкар, 2007. С. 112–116.
2. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари. М. : Мир, 1973. 293 с.
3. Шовкун, А. В. Построение корпоративной информационно-аналитической системы в условиях постоянно изменяющегося бизнеса / А. В. Шовкун // Науч.-техн. информ. Сер. 1. ВИНТИ, 2004. № 9. С. 1–6.
4. Программный модуль сбора данных автоматизированной информационной системы «Профобразование» : программа для ЭВМ. М., 2008. Зарегистрировано Федер. службой по интелект. собственности, патента и товарным знаком (Роспатент), № 2008613979.

5. Программный модуль формирования отчетов и печатных форм автоматизированной информационной системы «Профобразование» : программа для ЭВМ. М., 2008. Зарегистрировано в Роспатенте, № 2008613980.

6. Программный модуль формирования сводных отчетов автоматизированной информационной системы «Профобразование» : программа для ЭВМ. М., 2008. Зарегистрировано в Роспатенте, № 2008613981.

7. Программный модуль ведения справочников автоматизированной информационной системы «Профобразование» : программа для ЭВМ. М., 2008. Зарегистрировано в Роспатенте, № 2008615820.

8. Программный модуль авторизации автоматизированной информационной системы «Профобразование» : программа для ЭВМ. М., 2008. Зарегистрировано Федер. службой по интелект. собственности, патентом и товарным знаком (Роспатент), № 2008615821.

9. Программный модуль ведения показателей автоматизированной информационной системы «Профобразование» : программа для ЭВМ. М., 2008. Зарегистрировано в Роспатенте, № 2008615828.

10. Программный модуль импорта данных автоматизированной информационной системы «Профобразование» : программа для ЭВМ. М., 2009. Зарегистрировано в Роспатенте, № 2009610028.

11. Программный модуль подготовки базы данных автоматизированной информационной системы «Профобразование» : программа для ЭВМ. М., 2009. Зарегистрировано в Роспатенте, № 2009610029.

A. A. Gorodilov

MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC STRUCTURES OF THE DATA OF THE AUTOMATED INFORMATION SYSTEM

In the paper problems of the information storage in dynamic structures of the data, as the most effective and adaptive to structure changes, a way of their organization are considered. The mathematical model describing structure and data interrelations of a subject domain using dynamic data structures is considered.

Keywords: mathematical models, informational system, development, dynamic data structure.

© Городилов А. А., 2009

Е. И. Алгазин, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин

ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ ИНВАРИАНТНЫМ МЕТОДОМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПРИ НАЛИЧИИ СЛАБОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

Синтезирована инвариантная система обработки информации на основе квадратичной нелинейной обработки. При расчете параметров такой системы принято допущение, что отсчеты поднесущей зашумлены аддитивной помехой и слабо коррелированы между собой. Произведено сравнение количественных оценок работы такой системы с количественными показателями классической системы с амплитудной модуляцией и с характеристиками инвариантной системы на основе расширенного синхронного детектирования.

Ключевые слова: помехоустойчивость, инвариант, вероятность попарного перехода, отношение сигнал/шум.

В работах [1–5] исследовались инвариантные системы передачи информации, которые имеют различные вероятности попарного перехода. Указанные инвариантные системы имеют существенно лучшие характеристики по сравнению с классическими системами амплитудной модуляции при комплексном воздействии помех.

Выигрыш в помехоустойчивости объясняется тем, что модулирующий параметр вложен в отношение энергий информационного и обучающего сигналов.

Однако следует отметить, что поиски построения подобных инвариантных систем не прекращаются. Данная работа посвящена дальнейшему исследованию характеристик инвариантной системы при использовании квадратичного детектирования, которое является нелинейной обработкой сигналов.

Постановка задачи. Имеется канал связи, ограниченный частотами f_n и f_b . Временную динамику каналов с переменными параметрами можно условно разбить на интервалы стационарности, а затем рассматривать прием информационного и обучающего сигналов в пределах выделенных интервалов стационарности, где действие мультипликативной помехи описывается постоянством коэффициента передачи $k(t)$ на определенной частоте. Алгоритм приема определяется несущей частотой, задаваемой как средняя частота канала, амплитуда которой промодулирована поднесущей.

Каждый передаваемый блок будет содержать информационную часть и последовательность обучающих сигналов $S_{об}$. При этом количество элементов информационной последовательности, отнесенное к количеству элементов обучающей последовательности, равно

$$N_{инф} : N_{об} = \frac{2}{3} : \frac{1}{3}.$$

Из-за изменения параметров канала связи на информационные и обучающие сигналы воздействует аддитивная помеха.

Решение поставленной задачи. На приемной стороне обучающие сигналы усредняются и используются для демодуляции информационной части блока и для уменьшения влияния аддитивных шумов канала связи.

Структура приемной части инвариантной относительно амплитудной модуляции (рис. 1) содержит синхронный детектор (умножитель, ФАПЧ и ФНЧ) и спецвычислитель.

В силу того, что мультипликативная помеха одинаково воздействует на обе части каждого передаваемого блока, алгоритм демодуляции сигналов приема, с учетом

выбранного способа обработки сигналов, будет заключаться в вычислении оценки инварианта.

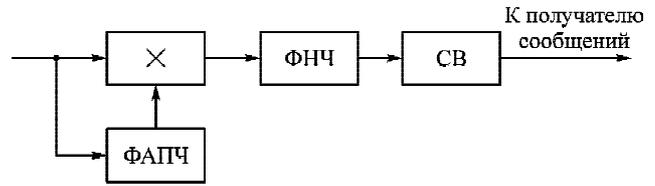


Рис. 1. Структурная схема инвариантной системы передачи информации: ФАПЧ – устройство фазовой автоподстройки частоты; ФНЧ – фильтр нижних частот; СВ – спецвычислитель

Поскольку используется нелинейный квадратичный алгоритм в вычислении оценки инварианта, то справедливо следующее соотношение:

$$INV^{*2} = \frac{\sum_{i=1}^N (k \cdot INV_l \cdot S(i) + \xi(i))^2}{\frac{1}{L} \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^N (k \cdot S_{об} \cdot S(j) + \eta(m, j))^2} S_{об}^2. \quad (1)$$

В числителе выражения (1) представлена сумма N квадратов мгновенных отсчетов сигнала информационной посылки. Информационный сигнал образован поднесущей вида

$$S(i) = A \sin(2\pi f_n \cdot \Delta t \cdot i),$$

где A – амплитуда; f_n – частота колебаний поднесущей; Δt – интервал дискретизации и представляет собой выражение

$$C(i) = k \cdot INV_l \cdot S(i) + \xi(i),$$

где $k \cdot INV_l \cdot S(i)$ – мгновенный отсчет сигнала информационной части блока, поступающего из канала; $\xi(i)$ – отсчеты аддитивной помехи, распределенные по нормальному закону; k – коэффициент передачи канала связи на интервале стационарности.

В знаменателе выражения (1) представлена сумма N квадратов мгновенных отсчетов сигнала обучающей посылки, образованного поднесущей

$$G(m) = k \cdot S_{об} \cdot S(i) + \eta(m, j),$$

где $\eta(m, j)$ – помеха в m -й реализации обучающего сигнала, распределенная по нормальному закону; $k \cdot S_{об} \cdot S(i)$ – мгновенный отсчет сигнала обучающей части блока, поступающего из канала; L – количество накоплений $G(m)$.

Без ограничения общности полагаем, что $S_{об} = 1$. Если $S_{об} \neq 1$, то все исходные параметры, а именно INV_l и σ_ξ (среднеквадратическое отклонение помехи $\xi(i)$, $\eta(m, j)$) можно масштабировать на величину $S_{об}$.

Тогда формула (1) с учетом введенных ограничений переписывается в виде

$$\text{INV}^{*2} = \frac{\sum_{i=1}^N (k \cdot \text{INV}_i \cdot S(i) + \xi(i))^2}{\frac{1}{L} \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^N (k \cdot S(j) + \eta(m, j))^2} = \frac{A}{B}, \quad (2)$$

где переменные описаны выше.

Будем полагать, что случайные величины $\xi(i)$ и $\eta(m, j)$ одинаково распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_ξ^2 . Кроме того, предполагается, что в каждом блоке зависимы только соседние случайные величины. Тогда

$$\begin{aligned} \text{corr}(\xi(i), \xi(i-1)) &= \\ &= \text{corr}(\eta(m, j), \eta(m, j-1)) = R, \end{aligned}$$

где R – коэффициент корреляции.

Все остальные случайные величины, входящие в каждый принимаемый блок, будут независимыми. Для реализации этой модели необходимо, чтобы $|R| \leq 1/\sqrt{2}$.

Воспользуемся известным подходом оценки вероятности попарного перехода, описанным формулой средней вероятности [6]

$$P_{\text{пер}} = P_1 \int_0^{z_p^2} W_1(z) dz + P_i \int_{z_p^2}^{\infty} W_1(z) dz, \quad (3)$$

где $P_{\text{пер}}$ – вероятность перехода INV_1^2 в INV_i^2 и наоборот; P_1 – вероятность появления INV_1^2 ; P_i – вероятность появления INV_i^2 ; первый интеграл – вероятность появления INV_1^2 , когда послан INV_1^2 ; второй интеграл – вероятность появления INV_1^2 , когда послан INV_i^2 ; z_p^2 – пороговое значение, необходимое для вычисления $P_{\text{пер}}$; при известных P_1 и P_i оно определяется с помощью наилучшей байесовской оценки путем минимизации $P_{\text{пер}}$ по z_p^2 .

При неизвестных P_1 и P_i выбираем $P_1 = P_i = 0,5$.

Из анализа (3) видно, что для вычисления $P_{\text{пер}}$ необходимо знать аналитические выражения $W_1(z)$ и $\tilde{W}_1(z)$ плотности вероятности оценки инварианта.

При нелинейной обработке и вычислении величин инвариантов появляется смещение. Это смещение обусловлено тем, что в формуле (3) величины $W_1(z)$, $\tilde{W}_1(z)$ вычисляются для квадратов инвариантов. Пороговое значение z_p в выражении (3) также возведено в квадрат. Смещенные квадраты инвариантов в формуле (3) обозначены INV_1^2 и INV_i^2 .

На основании выражения (2) вычислим математические ожидания и дисперсии случайных величин A и B . Математическое ожидание числителя будет определяться формулой [7]:

$$m_A = \sum_{i=1}^N (k^2 \text{INV}_i^2 S(i)^2 + \sigma^2). \quad (4)$$

Математическое ожидание знаменателя определится по формуле [7]

$$m_B = \sum_{i=1}^N (k^2 S(i)^2 + \sigma^2). \quad (5)$$

Дисперсия числителя определится как [7]

$$\begin{aligned} D_A &= 4k^2 \text{INV}_i^2 \sigma^2 \sum_{i=1}^N S^2(i) + 2N\sigma^4 + \\ &+ 8 \sum_{i=1}^{N-1} k^2 \text{INV}_i^2 S(i)S(i+1)\sigma^2 R + 4(N-1)R^2\sigma^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Дисперсия знаменателя определится по формуле [7]

$$\begin{aligned} D_B &= \frac{1}{L} (4k^2 \sigma^2 \sum_{i=1}^N S^2(i) + 8k^2 \sigma^2 R \times \\ &\times \sum_{i=1}^{N-1} S(i)S(i+1) + 2N\sigma^4 + 4(N-1)R^2\sigma^4). \end{aligned} \quad (7)$$

Расчет частного двух случайных величин производится по формуле [7]

$$W(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_A\sigma_B} e^{-\frac{(z-m_A)^2}{2\sigma_A^2}} e^{-\frac{(x-m_B)^2}{2\sigma_B^2}} |x| dx, \quad (8)$$

где σ_A и σ_B определяются выражениями (6) и (7); m_A и m_B определяются выражениями (4) и (5).

Следует отметить, что в формуле (3) при расчете $W_1(z)$ используется INV_1 , а при расчете $\tilde{W}_1(z)$ – INV_i . Значение вероятности попарного перехода $P_{\text{пер}}$ находилось методом численного интегрирования. Число накоплений с усреднениями равно 40.

Полученные данные ограничены первыми шестью парами сравниваемых инвариантов, когда $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_i = 2; 3; 4; 5; 6; 7$.

Вероятность попарного перехода вычислялась при значениях h – отношения сигнал/шум, которое находилось по формуле, определяемой отношением мощности сигнала к мощности шума

$$h^2 = \frac{k^2 \text{INV}_i^2 a}{N\sigma_\xi^2}.$$

Пороговые значения z_p^2 отыскивались минимизацией $P_{\text{пер}}$ в формуле (3). Для $k=1$, $R=0,7$ и $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_i = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ вычисления дают $z_p^2 = 1,521; 2,047; 2,513; 3,406; 4,117; 4,595$. Для $k=0,7$, $R=0,7$ и $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_i = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ вычисления дают $z_p^2 = 1,341; 1,689; 2,117; 2,617; 2,970; 3,401$.

Особенностью любой инвариантной системы, основанной на принципе инвариантной относительной амплитудной модуляции, является то, что по каналу передаются амплитудно-модулированные сигналы, образованные INV_1 и $\text{S}_{\text{об}}$.

Передача этих сигналов обеспечивается на основе классических алгоритмов обработки информации и имеет невысокую помехоустойчивость, и только после обработки этих сигналов в соответствии с алгоритмом частного по выражению (2), получаем оценку инварианта, по сути являющуюся числом, а не сигналом.

Кривая 2 (рис. 2, 3) соответствует вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$ в классических системах, являющейся аналогом вероятности попарного перехода и рассчитывающейся по известным формулам [6].

Таким образом, вероятность попарного перехода в инвариантной системе определяется величинами ($10^{-1} \dots 10^{-18}$). При тех же значениях сигнал/шум вероятность ошибочного приема единичного символа в классических системах лежит в пределах ($10^{-1} \dots 10^{-5}$).

Проведенный анализ показывает, что инвариантная система передачи информации при наличии аддитивной помехи с некоррелированными отсчетами обладает высокой помехоустойчивостью. Вероятность ошибки классического алгоритма с амплитудной модуляцией как минимум на два порядка больше вероятности попарного перехода в инвариантной системе.

Хотелось бы подчеркнуть, что система с квадратичной нелинейной обработкой существенно проще в реализации

по сравнению с инвариантными системами, разработанными авторами ранее [1–5]. Упрощение состоит в том, что в разработанном выше алгоритме не требуется расширенного синхронного детектирования, поэтому данную систему можно использовать в телекоммуникационных системах, системах телеуправления и других системах, предъявляющих высокие требования к помехоустойчивости.

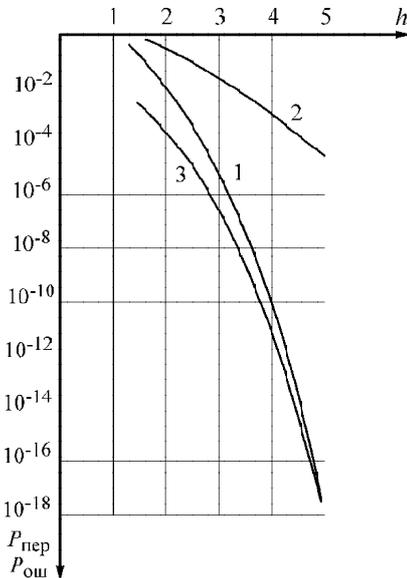


Рис. 2. Помехоустойчивость инвариантной системы при отсутствии мультипликативной помехи и $INV_1 = 1$; $INV_i = 2; 3; 4; 5; 6; 7$: кривая 1 – вероятность попарного перехода при слабой коррелированности отсчетов шума и нелинейной обработке отсчетов сигнала; кривая 2 – вероятность ошибки классической АМ; кривая 3 – вероятность попарного перехода при некоррелированности отсчетов шума и использовании расширенного синхронного детектора

Библиографический список

1. Алгазин, Е. И. Оценка помехоустойчивости инвариантной системы обработки информации при некогерентном приеме / Е. И. Алгазин, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2008. Вып. 2 (19). С. 38–41.

2. Алгазин, Е. И. Сравнительный анализ способов повышения помехоустойчивости инвариантной системы обработки информации / Е. И. Алгазин, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин // Материалы IX Междунар. конф. «Актуал. пробл. электрон. приборостроения» (АПЭП-2008). Новосибирск, 24–26 сент. 2008 г. Новосибирск, 2008. С. 17–19.

3. Алгазин, Е. И. Помехоустойчивость инвариантной относительной амплитудной модуляции / Е. И. Алгазин, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин // Материалы IX Междунар. конф. «Актуал. пробл. электрон. приборостроения» (АПЭП-2008). Новосибирск, 24–26 сент. 2008 г. Новосибирск, 2008. С. 20–23.

4. Алгазин, Е. И. Инвариантная система обработки информации при некогерентном приеме и ее количественные характеристики / Е. И. Алгазин, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин // Материалы IX Междунар. конф. «Актуал. пробл. электрон. приборостроения» (АПЭП-2008). Новосибирск, 24–26 сент. 2008 г. Новосибирск, 2008. С. 13–16.

5. Малинкин, В. Б. Инвариантный метод анализа телекоммуникационных систем передачи информации : монография / В. Б. Малинкин, Е. И. Алгазин, Д. Н. Левин, В. Н. Попантонопуло. Красноярск, 2006. 140 с.

6. Теплов, Н. Л. Помехоустойчивость систем передачи дискретной информации / Н. Л. Теплов. М. : Связь, 1964. 359 с.

7. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. 3-е изд. М. : Радио и связь, 1989. 654 с.

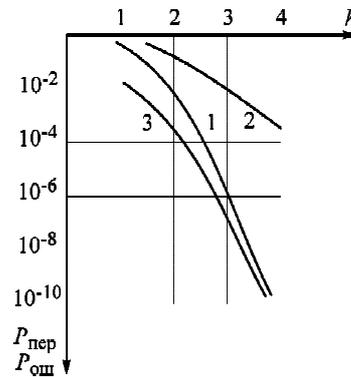


Рис. 3. Помехоустойчивость инвариантной системы при наличии мультипликативной помехи и $k = 0,7$; $INV_1 = 1$; $INV_i = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ (кривые 1, 2, 3 – см. подпись к рис. 2)

E. I. Algazin, A. P. Kovalevsky, V. B. Malinkin

TRANSMISSION OF SIGNALS BY INVARIANT METHOD WITH FURTHER NON-LINEAR PROCESSING BY WEAK CORRELATION

The invariant system of processing of information based on square-law characterised non-linear processing has been synthesized. By calculating the parameters of such kind of system it is assumed that the readings of sub-carrier are interfered with the additive noise and weakly correlated with each other. Quantitative estimation of the operation of such kind of system is compared with the quantitative indicators of the classical system with amplitude modulation and with the characteristics of the invariant system based on extended synchronous detection.

Keywords: noise immunity, invariant, probability of pairwise transition, signal/noise relation.

Ю. М. Ермошкин, В. А. Раевский, В. М. Урусов

ПРОВЕДЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ И КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА: СХЕМА С НЕПОДВИЖНЫМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ КОРРЕКЦИИ

Рассматриваются вопросы расширения сферы применения высокоэкономичных электрореактивных двигателей коррекции орбиты геостационарных спутников, а именно для создания управляющих моментов в интересах системы ориентации и стабилизации космического аппарата (КА) одновременно с проведением коррекций орбиты. Анализируется схема с неподвижным закреплением двигателей на корпусе КА. Приведена возможная методика организации сеансов коррекции с учетом выполнения задач по созданию управляющих моментов. Анализируются преимущества и недостатки данного подхода к решению задач коррекции и ориентации.

Ключевые слова: космический аппарат, двигательная подсистема, коррекция орбиты, управление ориентацией, размещение двигателей.

Характеристики двигательных подсистем оказывают существенное влияние на характеристики платформы геостационарного КА. Масса заправленных ДУ может достигать 15–20 % от массы спутника, а потребляемая мощность ЭРДУ – до 4 кВт, поэтому даже некоторое снижение массы и энергопотребления двигательных подсистем позволяет высвободить значительные резервы для уменьшения массы конструкции КА или увеличения пропускной способности полезной нагрузки. Учитывая это обстоятельство, представляется важным и актуальным рассмотреть вопросы оптимального проектирования схем организации управления ориентацией КА и коррекции его орбиты с помощью двигательных подсистем. Вопросы такого рода возникают всякий раз в начальной фазе проектирования нового КА. На практике, решения носят в значительной мере субъективный характер, поэтому желательно более подробное их рассмотрение и внесение элементов формализации.

Известны три концепции организации ориентации и коррекции при помощи двигательных установок:

- отдельные двигательные установки для управления ориентацией и коррекцией орбиты;
- управление ориентацией (создание управляющих моментов) двигателями коррекции, неподвижно закрепленными на корпусе КА;
- управление ориентацией двигателями коррекции, установленными на одно- или двухступенных приводах.

Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки. Первый подход является традиционным, наиболее простым и применяется на многих КА, например, разработки ОАО «ИСС» (НПО ПМ) [1]. Он позволяет решать отдельно и независимо баллистическую задачу управления положением центра масс КА (задачу коррекции орбиты) и задачу управления угловым положением КА (задача ориентации).

Второй подход обещает некоторую экономию в массе за счет отказа от отдельной ДУ ориентации и стабилизации, но, вероятно, потребует усложнения методик проведения коррекций орбиты, так как одновременно с задачей коррекции должна решаться задача создания управляющих моментов для разгрузки маховиков системы ориентации. Такой подход применяется на КА «Ямал-100» [2]. Отметим, что в данном варианте все равно необходима

небольшая вспомогательная двигательная подсистема ориентации, позволяющая создавать управляющие моменты в начальных режимах ориентации КА (после отделения от разгонного блока) и в режимах обеспечения живучести, то есть в ситуациях, когда включать плазменные двигатели нельзя из-за напряженного энергобаланса.

Третий подход является модификацией второго. Возможности по управлению ориентацией и резервированию несколько расширяются за счет применения приводов, однако неизбежно некоторое увеличение массы за счет появления дополнительных механических и электронных блоков. Возникают дополнительные потребности в ресурсах по управлению положением двигателей, требуют внимания вопросы отработки прочности конструкции, тепловых режимов, надежности и т. д. Установка двигателей коррекции на приводах применяется в основном на зарубежных КА [3].

Отметим, что при любом подходе необходимо соблюдать основной принцип надежности: отказ одного элемента (в данном случае двигателя) не должен приводить к невозможности выполнения задачи, то есть к невозможности выдачи тяги в любом из требуемых 4-х направлений (север–юг, запад–восток) и управляющих моментов по любой из трех осей.

Сравнительный анализ различных схем построения двигательных подсистем можно провести по критерию суммарной массы заправленных ДУ (или массы переменных составляющих по сравнению с выбранной базовой схемой). Очевидно также, что такой анализ реально провести только применительно к определенной (например, некоей типовой) компоновке КА.

Выберем в качестве базовой схему, представленную на рис. 1, т. е. независимые ДУ ориентации и коррекции. Рассмотрим возможность организации режимов коррекции и ориентации с учетом требований надежности в схеме с неподвижным закреплением двигателей коррекции. Эффективность исследуемой схемы будем характеризовать отличием массы блоков заправленной ДУ в сравнении с базовой схемой.

В качестве типовой формы негерметичного корпуса КА примем куб со стороной размером 2 м (рис. 1). Близкими к такой компоновке являются КА «Ямал» (РКК «Энергия») и КА на базе платформы «Экспресс-1000»

(ОАО «ИСС»). С северной и южной стороны (ось Z) расположены панели солнечных батарей, ось вращения которых проходит через центр масс или близко к нему. С западной и восточной стороны (ось Y), как правило, расположены антенны ретрансляторов. Поэтому одним из естественных решений является размещение двигателей коррекции по диагоналям квадрата, образованного сечением корпуса плоскостью YOZ . Такое решение, в частности, рассматривается в работе. Оно обеспечивает минимальное воздействие истекающих реактивных струй двигателей на панели и антенны. Возможны, разумеется, и другие схемы, например, с размещением двигателей вне плоскости YOZ , но в данной работе они не рассматриваются. В качестве двигателя коррекции примем наиболее распространенный отечественный плазменный двигатель М-100 (ОКБ «Факел»).

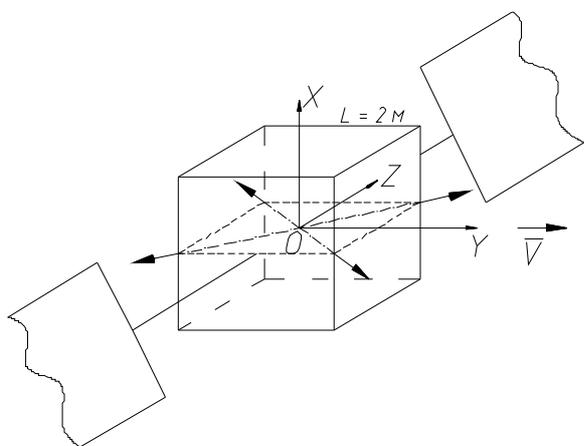


Рис. 1. Система координат и номинальные направления выдачи тяги двигателей коррекции орбиты в базовой схеме

Остановимся вначале на особенностях базовой схемы. Линии действия двигателей коррекции в данной схеме (рис. 1) номинально проходят через центр масс. Коррекцию наклона целесообразно проводить включением пары двигателей направления $+Z$ или $-Z$, долготы и эксцентриситета – пары направления $+Y$ или $-Y$. При этом, каждый двигатель может участвовать как в выдаче импульса тяги по оси Z , так и по оси Y , в зависимости от того, в составе какой пары он включается.

Отдельно стоит вопрос о количестве двигателей коррекции. Очевидно, что минимальное количество двигателей – четыре. Проверим, выполняется ли при этом основное правило надежности.

При отказе одного из двигателей пары направления $+Z$, коррекция наклона осуществляется парой направления $-Z$. Симметричная ситуация имеет место и при отказе одного из двигателей пары направления $+Z$.

Возможна коррекция наклона и одним двигателем (например, по $+Z$), однако, при этом для компенсации импульса в направлении Y (из-за наличия составляющей тяги на ось Y) необходимо через 12 час при коррекции наклона включить двигатель, имеющий составляющую на Y другого знака (в данном случае – направления $-Z$).

При отказе одного из двигателей пары направления $+Y$ ($-Y$) возможна коррекция долготы одним оставшимся двигателем. При этом составляющая импульса в направ-

лении Z будет полезно использована при выборе соответствующего времени включения в течение суток.

Таким образом, действительно, 4 двигателя, установленных по диагоналям на ребрах корпуса в плоскости YOZ , обеспечивают выполнение задачи коррекции орбиты в 4-х направлениях с учетом выполнения основного требования надежности. Отказ любого одного двигателя не приводит к невозможности проведения коррекций долготы и наклона.

Отметим, однако, что в данной схеме при отказе одновременно двух двигателей пары в направлении Y коррекция долготы будет невозможна, так как всегда необходимо иметь возможность выдачи тяги как в направлении $+Y$, так и $-Y$. Коррекция наклона (то есть в направлении Z) одним оставшимся двигателем данного направления также в этом случае будет невозможна, так как нечем будет компенсировать долготную составляющую тяги, которая будет иметь место при каждой коррекции наклона.

С учетом данного обстоятельства при реальном проектировании, скорее всего, будет принято решение об установке 8 двигателей коррекции (попарно по каждой диагонали). Такое решение будет избыточно с точки зрения надежности, так как можно будет осуществлять коррекцию долготы и наклона даже при отказе любых двух двигателей. Однако с учетом того, что отказы могут произойти не одновременно, их можно рассматривать как два одиночных отказа, произошедших, например, из-за ресурсных факторов. Поэтому примем для базовой схемы 8 двигателей, расположенных попарно, приблизительно по каждому из направлений диагоналей в плоскости YOZ .

При использовании неподвижно закрепленных на корпусе КА двигателей коррекции для создания управляющих моментов, очевидно, что линия действия тяги каждого двигателя не должна проходить через центр масс, а иметь некоторое плечо. Учитывая то, что потребность в управляющих моментах возникает не всегда, а лишь в определенных ситуациях, то должна быть обеспечена возможность при осуществлении коррекций выдавать тягу без моментов. Поэтому коррекции необходимо в основном проводить парами двигателей, создающих противоположные моменты. При отсутствии необходимости выдачи управляющего момента время работы двигателей в сеансе должно быть одинаковым (при условии равенства по величине создаваемых моментов). При необходимости создания управляющего момента время работы двигателей данной пары должно быть разным. Величина импульса момента определится разностью времен работы двигателей. С учетом необходимости работы двигателей парами и выполнения основного правила надежности, очевидно, что общее количество двигателей коррекции для данной схемы не может быть менее восьми. По аналогии с базовым вариантом расположение двигателей (Д1–Д8) может быть принято по направлениям диагоналей в плоскости YOZ (рис. 2), а плечи созданы малыми (например, порядка 1°) отклонениями двигателей в соответствующих плоскостях (рис. 3).

При отклонении на угол в пределах $\alpha = 1^\circ$ изменением проекции тяги на оси Y и Z можно пренебречь. Величина управляющего момента при работе двигателя для

выбранных исходных данных по геометрии корпуса КА составит:

$$M = F \cdot L \cdot \operatorname{tg} \alpha = 8 \cdot 141,4 \cdot 0,01745 = 19,74 \approx 20 \text{ г} \cdot \text{см}.$$

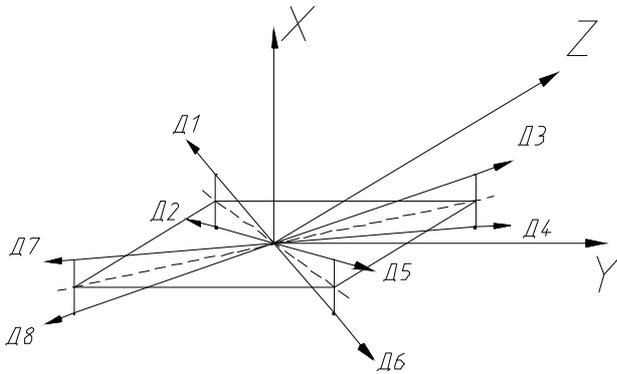


Рис. 2. Исходное размещение двигателей коррекции в схеме с неподвижным закреплением двигателей на корпусе КА

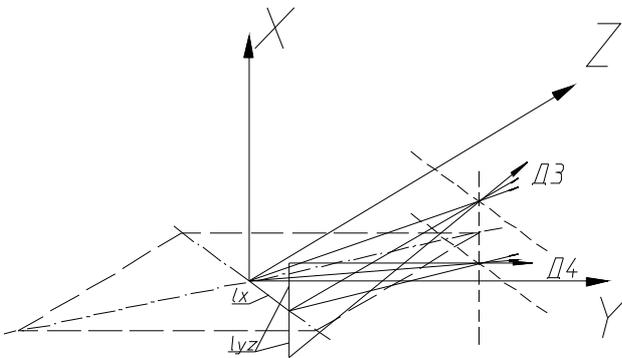


Рис. 3. Отклонения линий действия тяги неподвижно закрепленных двигателей для создания управляющих моментов (показано только для двигателей Д3, Д4)

При работе двух двигателей, создающих момент одного знака, величина момента удваивается. Достаточность управляющего момента 20 г·см можно оценить сопоставлением этой величины с возмущающими моментами, возникающими при работе двигателей коррекции. Однако для расчета возмущающих моментов необходимо задать, и достаточно подробно, конфигурацию изделия. В рамках данного анализа это затруднительно, так как рассматривается абстрактный КА. Но известны, например, возмущающие моменты, рассчитанные для КА на базе платформы «Экспресс-1000»: максимальный возмущающий момент составил (по оси Y) 14 г·см при средней величине около 8 г·см. В этом случае, очевидно, что величина управляющего момента около 20 г·см (при выбранных исходных данных) достаточна для обеспечения управления угловым положением КА. Очевидно также, что в общем случае превышение управляющего момента над возмущающим можно обеспечить соответствующим выбором угла отклонения линии действия тяги относительно направления на центр масс.

Рассмотрим применительно к данной схеме возможность организации коррекции орбиты с одновременным созданием управляющих моментов и соблюдением основного принципа надежности.

В целом задача заключается в размещении двигателей таким образом, чтобы иметь возможность выдачи импульса коррекции в направлениях «север–юг» и «запад–восток» ($\pm Z, \pm Y$) как безмоментно, так и с выдачей управляющих моментов обоих знаков по трем осям. Отметим, что требование создания управляющих моментов по трем осям несколько избыточно. Для управления угловым положением геостационарного КА обязательным является возможность создания управляющих моментов по оси Z (тангаж), а управляющие моменты по осям X, Y (рыскание, крен) могут перераспределяться между собой маховичной системой управления (с учетом орбитального движения КА). Иными словами, можно ограничиться, например, созданием управляющих моментов только по крену и тангажу. Однако в рамках данного рассмотрения представляет интерес возможность решения более общей задачи создания управляющих моментов по трем осям. При этом очевидно, что если есть общее решение, то частное и более простое решение может быть всегда реализовано. Из условия ограничения потребляемой мощности примем, что допускается одновременная работа не более двух двигателей.

Принимая за основу исходную схему размещения двигателей коррекции (рис. 2), модифицируем ее для обеспечения создания управляющих моментов (рис. 3, 4, 5). В исходной схеме двигатели установлены на ребрах квадрата, образованного сечением корпуса КА плоскостью YOZ . По каждому направлению установлены рядом два двигателя. Всего двигателей – 8. Исходя из габаритов двигательного блока и возможности монтажа на корпусе КА, каждый двигатель установлен так, что его ось номинально проходит через центр масс под некоторым углом к плоскости YOZ . Допустим, оси двигателей Д1, Д3, Д5, Д7 повернуты в сторону направления $+X$, а Д2, Д4, Д6, Д8 – симметрично, в сторону $-X$ (рис. 2).

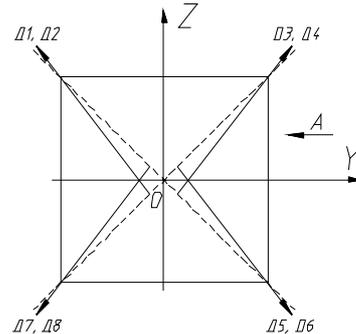


Рис. 4. Схема управления по рысканию

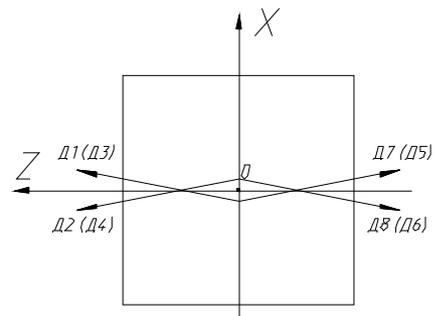


Рис. 5. Схема управления по тангажу и крену

Для создания управляющих моментов по оси X (рыскание) пары двигателей Д1 + Д2, Д3 + Д4, Д5 + Д6, Д7 + Д8 следует развернуть вокруг осей, совпадающих с ребрами, на некоторый малый угол, например, на 1° , как было принято выше. Для симметрии, пары Д1 + Д2, Д3 + Д4 можно, например, развернуть в сторону $+Z$, пары Д5 + Д6, Д7 + Д8 – в сторону $-Z$ (рис. 4). Пусть это будет первый поворот.

Для создания управляющих моментов по осям Z и Y (тангаж, крен) двигатели следует повернуть в плоскостях, образованных их осями и осью первого поворота (ребрами), на такие же малые углы в сторону $+X$ и $-X$. Назовем это вторым поворотом. Для определенности развернем в сторону $+X$ двигатели Д1, Д3, Д5, Д7, а в сторону $-X$ – двигатели Д2, Д4, Д6, Д8 (рис. 5).

Исходя из представленной выше схемы, можно предложить, например, следующую методику создания управляющих моментов при осуществлении коррекций наклона и долготы.

Управление по рысканию

Коррекция наклона. Выдача импульса в направлении «юг» ($-Z$): сеанс коррекции разбивается на два участка: первый – работают двигатели Д1 + Д2 (время t_1) и второй – Д3 + Д4 (время t_2). Если $t_1 = t_2$, управляющий момент не формируется, создается «чистый» импульс тяги в направлении $-Z$. Если $t_1 > t_2$, то создается импульс момента $+M_x$, если $t_2 > t_1$, то – импульс момента $-M_x$. Суммарная величина импульса момента определяется разностью времен t_1 и t_2 . Поскольку при работе каждой пары существует момент, то во время работы двигателей (t_1 и t_2) маховичная система управления должна поддерживать заданную трехосную ориентацию КА. Если возможностей этой системы недостаточно для решения данной задачи, то сеанс коррекции должен быть разбит на большее количество интервалов (4, 6, 8), с тем, чтобы уменьшить импульс момента во время работы каждой пары до допустимой величины. Коррекция проводится парами двигателей (Д1 + Д2) или (Д3 + Д4) для того, чтобы исключить появление моментов по осям Y, Z .

Аналогично, выдача импульса тяги в направлении «север» ($+Z$) обеспечивается работой пар (Д7 + Д8) (t_1) + (Д5 + Д6) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс положительного момента $+M_x$, при $t_2 > t_1$ – импульс отрицательного момента $-M_x$.

Отметим, что поскольку двигатели имеют составляющую тяги на ось Y , за счет разности времен t_1 и t_2 при проведении коррекции наклона в данном случае образуется нескомпенсированный импульс тяги в долготном направлении. Для компенсации воздействия этого импульса, вероятнее всего, потребуется проведение специального сеанса коррекции долготы.

Коррекция долготы:

– выдача импульса тяги в направлении «запад»: (Д3 + Д4) (t_1) + (Д5 + Д6) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс отрицательного момента $-M_x$, при $t_2 > t_1$ – импульс положительного момента $+M_x$;

– выдача импульса тяги в направлении «восток»: (Д1 + Д2) (t_1) + (Д7 + Д8) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс положительного момента $+M_x$, при $t_2 > t_1$ – импульс отрицательного момента $-M_x$.

Управление по крену

Коррекция наклона:

– выдача импульса тяги в направлении «юг» обеспечивается работой пар: (Д1 + Д3) (t_1) + (Д2 + Д4) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс отрицательного момента $-M_y$, при $t_2 > t_1$ – положительного момента $+M_y$;

– выдача импульса тяги в направлении «север» обеспечивается работой пар: (Д5 + Д7) (t_1) + (Д6 + Д8) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс положительного момента $+M_y$, при $t_2 > t_1$ – отрицательного момента $-M_y$.

Коррекция долготы:

– выдача импульса тяги в направлении «восток» обеспечивается работой пар: (Д1 + Д8) (t_1) + (Д2 + Д7) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс отрицательного момента $-M_y$, при $t_2 > t_1$ – положительного момента $+M_y$;

– выдача импульса тяги в направлении «запад» обеспечивается работой пар: (Д4 + Д5) (t_1) + (Д3 + Д6) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс положительного момента $+M_y$, при $t_2 > t_1$ – отрицательного момента $-M_y$.

Управление по тангажу

Коррекция наклона.

В выбранной компоновке при коррекции наклона обеспечить формирование «чистых» управляющих моментов по тангажу невозможно.

Коррекции долготы:

– выдача импульса тяги в направлении «восток» обеспечивается работой пар: (Д1 + Д7) (t_1) + (Д2 + Д8) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс отрицательного момента $-M_z$, при $t_2 > t_1$ – положительного момента $+M_z$.

– выдача импульса тяги в направлении «запад» обеспечивается работой пар: (Д3 + Д5) (t_1) + (Д4 + Д6) (t_2). При $t_1 > t_2$ создается импульс положительного момента $-M_z$, при $t_2 > t_1$ – отрицательного момента $-M_z$.

Резервирование

Коррекция наклона.

При отказе одного двигателя направления «север» коррекцию наклона без ограничений можно проводить по указанной выше методике двигателями направления «юг».

Коррекция долготы. При отказе одного из двигателей направления «запад» (допустим, Д1) выдача импульса в направлении «восток» возможна парой Д2 + Д8 или Д2 + Д7. Однако в первом случае возникнет момент по тангажу $+M_z$, а во втором – момент по крену $+M_y$. Указанные моменты необходимо будет компенсировать маховичной системой управления в пределах ее возможностей, а на длительность включения двигателей могут быть наложены ограничения. Величину момента, который необходимо компенсировать, можно уменьшить в 2 раза, включением вместо пары только одного двигателя, например, Д2, Д7, Д8. Однако при одиночном включении любого из указанных двигателей будут возникать моменты сразу по трем осям.

Аналогичная ситуация имеет место и при отказе одного из двигателей направления «восток». Ограничений со стороны системы ориентации можно избежать введением резервных двигателей коррекции долготы, линия действия тяги которых проходит через центр масс. Однако в этом случае количество двигателей коррекции увеличивается до 10.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в рассмотренной схеме размещения двигателей коррекции возможно проведение коррекций долготы и наклона как без моментов, так и с созданием управляющих моментов обоих знаков по трем осям. При этом обеспечивается резервирование, при отказе одного двигателя, задействованного для коррекций наклона (без ограничений), и при отказе одного двигателя, задействованного для коррекций долготы (с ограничениями по длительности коррекции в зависимости от параметров маховичной системы ориентации и стабилизации). Однако по сравнению с исходной схемой существенно усложняется планирование сеансов коррекции, так как необходимо обеспечить как выдачу импульса тяги в требуемых направлениях, так и создание управляющих моментов определенного знака.

Рассмотрим возможные преимущества, достигаемые при реализации рассмотренной выше схемы размещения двигателей коррекции. Ограничимся выбором 8 двигателей (рис. 2) без использования долготных резервных двигателей. Так как управляющие моменты формируются попутно при проведении коррекций (за счет малых отклонений осей двигателей от номинальных направлений), то рабочее тело специально на создание моментов в процессе штатной эксплуатации КА не затрачивается. Поэтому для сравнения исходного варианта с рассматриваемым достаточно сравнить массу заправленной монотопливной ДУ ориентации с массой газореактивной системы для обеспечения начальных и аварийных режимов ориентации. Очевидно, что в силу ограниченности задачи (требуемый суммарный импульс невелик), наиболее простым решением является использование того же самого рабочего тела (газообразного ксенона), который применяется для ЭРДУ коррекции. В этом случае не нужен отдельный дополнительный бак (при наличии определенного запаса емкости баков ЭРДУ). Примем, что емкости баков хватает для размещения дополнительных запасов газа и проведем такое сравнение для КА на базе платформы «Экспресс-1000».

Газореактивная система на холодном ксеноне

Блок подачи газа – 3 кг. Двигательный блок ориентации – 6 шт. по 0,5 кг. Всего – 3 кг. Суммарный импульс, который необходимо затратить на ориентацию в начальных и аварийных режимах зависит от массы КА, размещения сопел, количества реализаций указанных режимов. По оценкам, для КА массой 1–2 т необходимо на эти цели затратить 100–200 кг·с. Возьмем для надежности верхнюю оценку. Масса ксенона, исходя из необходимости выработки, примерно 200 кг·с и удельного импульса 25 с при температуре 20 °С – 8 кг; трубопроводы ~ 3 кг. Итого – 17 кг.

Монотопливная двигательная установка ориентации и стабилизации

Двигательный блок – 8 шт по 1,9 кг, всего – 15,2 кг; блок хранения и подачи – 16,3 кг; трубопроводы ~ 3 кг; топливо – 25 кг; вытеснитель – 0,15 кг. Итого – 59,65 кг.

Таким образом, разница в массе СК рассмотренных вариантов составит примерно 43 кг. Эта величина дает верхнюю оценку преимущества по массе варианта с неподвижно закрепленными двигателями коррекции, создающими управляющие моменты, по сравнению с исходным вариантом отдельных независимых двигательных

установок для коррекции и ориентации применительно к КА на базе платформы «Экспресс-1000». В случае необходимости размещения дополнительного бака ксенона преимущество данного варианта перед исходным уменьшается на 16 кг и составляет 27 кг.

Очевидно, что в зависимости от построения конкретной платформы, величина весового преимущества, достигаемая за счет отказа от специальной ДУ ориентации и создания управляющих моментов двигателями коррекции, может изменяться в достаточно широких пределах. Однако можно ожидать, что по порядку величины она составит 30–40 кг. Если ввести два дополнительных блока коррекции в схему (рис. 2) (один блок – в направлении +Y, другой – в направлении –Y) для обеспечения полного резервирования двигателей коррекции долготы, то преимущество будет близко к нижнему пределу (30 кг).

Проведенный анализ подтвердил, что использование неподвижно закрепленных на корпусе КА двигателей коррекции для создания управляющих моментов возможно. Такое решение может дать весовое преимущество до 30–40 кг (для КА массой 1–2 т) за счет отказа от специализированной двигательной установки ориентации. Однако «ценой» этого преимущества окажется существенное усложнение методики планирования и осуществления коррекций орбиты: каждую коррекцию (до 2-х раз в сутки в течение всего САС) необходимо будет планировать индивидуально с привлечением специалистов по управлению движением и системе ориентации. Сеансы коррекции необходимо проводить только парами двигателей, что должно быть обеспечено системой преобразования и управления ДУ, наличием соответствующей мощности СЭП. Сеансы коррекции разбиваются на участки, при этом необходимо обеспечивать заданное время работы двигателей с достаточной точностью, не хуже единиц, или, по крайней мере, десятков секунд. Совмещение коррекций наклона и разгрузки маховиков потребует проведения дополнительных коррекций долготы. Автоматизация проведения коррекций затруднительна. Применение данной концепции возможно на КА, для которых не предъявляется требование автономности в течение достаточно длительных интервалов времени.

Библиографический список

1. Kozlov, A. The outcomes and outlooks of the EDB Fakel propulsion units as part of the NPO PM spacecraft / A. Kozlov // International cooperation in the future space missions involving electric propulsion : International Workshop (Svetlogorsk. Sept. 16–17, 2005). Svetlogorsk, 2005.
2. Semenov, Yu. Electric Propulsion Subsystem development and application in Russia / Yu. Semenov, B. Sokolov, A. Borisenko [et al.] // Spacecraft Propulsion : 3rd International Conference (Cannes. 10–13 Oct. 2000). Cannes, 2005.
3. Electric Propulsion Thruster Pointing Mechanism (TPM) For EUROSTAR 3000: Design & Development Test Results / M. Falkner [et al.] // IEPC-2005-001 : The 29th International Electric Propulsion Conference (Okt. 31–Nov. 4, 2005). Princeton University. Princeton, 2005.

Yu. M. Yermoshkin, V. A. Raevsky, V. M. Urusov

GEOSTATIONARY SPACECRAFT ATTITUDE AND ORBIT CONTROL BY MOTIONLESS ORBIT CONTROL THRUSTERS

There is considered the application of the geostationary SC orbit control thrusters to attitude and orbit control together. It is analyzed the scheme of motionless thrusters. It is given the possible method to fulfill the orbit control thrusters firings with a control moments creation. It is considered the preferences and deficiencies of this method.

Keywords: spacecraft, propulsion subsystem, orbital control, attitude control, thruster allocation.

© Ермошкин Ю. М., Раевский В. А., Урусов В. М., 2009

УДК 621.7(07)

Е. Н. Гарин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ КООРДИНАТ НА ОСНОВЕ РЕТРАНСЛЯЦИИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ СИСТЕМ ГЛОНАСС И GPS

Рассматривается возможность определения навигационных параметров объекта (координат, скорости и направления движения, параметров частотно-временной шкалы, пространственной ориентации) на основе результатов измерения радионавигационных параметров (задержки, доплеровского сдвига частоты и др.) ретранслированных сигналов НКА.

Ключевые слова: сигнал, координаты, частота, опорный генератор, навигационный космический аппарат, фаза.

Под ретрансляцией сигналов НКА систем ГЛОНАСС и GPS понимается их повторное излучение после приема и обработки в аппаратуре ретрансляции (далее ретранслятор). Обработка сигналов в ретрансляторе может включать в себя усиление, преобразование частоты, фильтрацию и дополнительное кодирование сигнала НКА. Ретранслированный сигнал проходит по радиоканалу и поступает в аппаратуру приема и обработки ретранслированного сигнала (АПОРС). В АПОРС производится обработка сигналов, передаваемых ретранслятором в соответствии с алгоритмом, обеспечивающим решение целевой задачи, в том числе выполняется измерение радионавигационных параметров (задержки, доплеровского сдвига частоты и пр.) сигналов НКА, принятых на объекте, а также решение навигационно-временной задачи (НВЗ) для объекта. Ретрансляция сигналов НКА с борта объекта может использоваться в различных целях:

– дистанционное определение координат и скорости объекта (подвижного или неподвижного) на опорной станции (подвижной или неподвижной);

– определение координат объекта, который не принимает сигналы НКА (или принимает их недостаточно для решения НВЗ) по ретранслированным сигналам НКА, излучаемым ретрансляторами, находящимися в условиях благоприятных для приема сигналов НКА.

Дистанционное определение навигационных параметров объекта (координат, скорости и направления движения, параметров частотно-временной шкалы, пространственной ориентации) возможно при организации в

АПОРС решения навигационно-временной задачи (НВЗ) на основе результатов измерения радионавигационных параметров (задержки, доплеровского сдвига частоты и др.) ретранслированных сигналов НКА. Такой подход может использоваться как альтернатива системе дистанционного определения навигационных параметров объекта, построенной на основе размещенного на объекте комплекта из «традиционной» АРН, выполняющей решение НВЗ, и аппаратуры передачи информации о результатах решения НВЗ. При использовании ретрансляции аппаратура передачи информации заменяется аппаратурой ретрансляции, а АРН значительно уменьшается по массе, габаритам, потребляемой мощности и стоимости за счет исключения из ее состава таких узлов как блок цифровой обработки сигналов (БЦОС) и вычислительный блок (ВБ).

Дополнительным преимуществом решения навигационно-временной задачи по ретранслированным сигналам является возможность реализации на АПОРС относительного режима определения навигационных параметров объекта в реальном времени. При этом, для организации такого режима, не требуется передачи от объекта никакой дополнительной информации.

Необходимо отметить, что поскольку решение НВЗ производится в АПОРС, на самом объекте информация о его навигационных параметрах отсутствует. Такое положение нормально для задач наблюдения за объектом. Если же для объекта требуется одновременно решать задачи навигации и/или управления (наведения), то возникает необходимость в дополнительном канале передачи информации на объект.

При распространении сигнала НКА по трассе ретрансляции возникает его дополнительная задержка, определяемая расстоянием между ретранслятором и АПОРС, а также дополнительный доплеровский сдвиг частоты, обусловленный взаимным перемещением ретранслятора и АПОРС. Эти факторы искажают результаты измерения радионавигационных параметров НКА, выполняемого в АПОРС с целью решения НВЗ и определения навигационных параметров объекта.

Дополнительным фактором, искажающим результаты решения в ЛПОРС НВЗ для объекта ретранслировавшего сигнал НКА, является отклонение частотно-временной шкалы АПОРС от частотно-временной шкалы ретранслятора.

Для исключения (учета) влияния на результаты решения НВЗ в АПОРС трассы распространения ретранслированного сигнала НКА, а также параметров частотно-временной шкалы АПОРС можно использовать специальный пилот-сигнал, который формируется в ретрансляторе и транслируется с объекта вместе с ретранслируемым сигналом НКА. На опорной станции производится измерение параметров, таких как задержка и доплеровский сдвиг частоты (ДСЧ) пилот-сигнала относительно частотно-временной шкалы АПОРС. Результаты этого измерения позволяют определить дополнительную задержку сигнала НКА, обусловленную трассой ретрансляции и отклонением временной шкалы АПОРС от временной шкалы ретранслятора, а также дополнительный доплеровский сдвиг частоты сигналов НКА, обусловленный взаимным перемещением ретранслятора и АПОРС и отклонением частоты опорного генератора (ОГ) АПОРС от частоты ОГ ретранслятора.

Можно предложить несколько методов использования пилот-сигнала. Во-первых, это непосредственная синхронизация ОГ АПОРС по пилот-сигналу. В этом варианте реализуется контур автоподстройки (аналоговый или цифровой) частоты ОГ АПОРС по частоте принятого пилот-сигнала. Преимуществом данного варианта является отсутствие дополнительного усложнения программного обеспечения АПОРС в части первичной обработки и решения НВЗ. Недостатком варианта с непосредственной подстройкой частоты ОГ АПОРС по частоте пилот-сигнала является ограничение пропускной способности АПОРС. В данном варианте АПОРС может одновременно обрабатывать сигнал только одного ретранслятора.

Другим вариантом использования пилот-сигнала может быть измерение частоты пилот-сигнала относительно ОГ АПОРС. В этом варианте синхронизация процессов в АПОРС производится от собственного ОГ, частота которого не подстраивается под частоту принятого пилот-сигнала. В АПОРС выполняется оценка отклонения частоты принятого пилот-сигнала от номинального значения и с использованием этой информации осуществляется исключение из оценки частоты ретранслированного сигнала НКА дополнительной составляющей, обусловленной трассой распространения и параметрами частотно-временной шкалы АПОРС.

Данный вариант несколько сложнее в реализации, поскольку требует переработки программного обеспечения первичной обработки информации АПОРС. Преимуществом является отсутствие принципиальных ограничений на пропускную способность АПОРС. Одна АПОРС может одновременно обслуживать несколько ретрансляторов.

Возможен режим работы АПОРС «как на объекте». В этом режиме в АПОРС обеспечивается решение НВЗ так же, как если бы оно происходило непосредственно на объекте. АПОРС как бы представляет собой «продолжение» навигационного приемника объекта, например, его БЦОС и ВБ. Аппаратура ретранслятора, трасса ретрансляции и приемные блоки АПОРС «вставлены в разрыв» между приемной антенной, радиотрактом (его частью) и остальными блоками «традиционной» АРН.

Работа АПОРС в режиме определения относительных координат будет выглядеть следующим образом. В этом режиме АПОРС наряду с приемом ретранслированных сигналов от ретранслятора в частотном диапазоне ретрансляции производит прием сигналов НКА в стандартном частотном диапазоне. Совместная обработка результатов измерения сигнала НКА, принятого навигационной антенной АПОРС, и сигнала НКА, принятого на объекте и ретранслированного с помощью ретранслятора, позволяет реализовать высокоточное определение относительных координат объекта относительно АПОРС. Причем в данном режиме возможна реализация для подвижного объекта как кодового, так и фазового режима определения относительных координат. Реализация фазового режима возможна за счет того, что на АПОРС, благодаря использованию пилот-сигнала, имеется полная информация о частотно-временной шкале объекта.

E. N. Garin

THE DETERMINATION OF RELATIVE COORDINATES BASED ON THE RETRANSMISSION OF NAVIGATION SIGNALS OF THE GLONASS AND GPS SYSTEMS

A determination possibility of navigation parameters of an object (coordinates, speed and direction of movement, parameters of the frequency-time scale, spatial orientation) based on the results of radio navigation parameters measurement (signal delay, Doppler frequency shift, etc.) of NSV retransmitted signals is overlooked.

Keywords: signal, coordinates, frequency, reference generator, navigation spacecraft, phase.

© Гарин Е. Н., 2009

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ С ПОЛУОТКРЫТЫМ РАБОЧИМ КОЛЕСОМ*

На основе теоретического анализа обтекания каналов полуоткрытого рабочего колеса в боковой пазухе насоса и приведенных экспериментальных исследований получены данные по совершенствованию энергетических параметров центробежных насосов с полуоткрытым рабочим колесом.

Ключевые слова: выравнивающий элемент, КПД, напор, насос, рабочее колесо.

Центробежные высокооборотные насосы (ЦВН) при угловой скорости ротора ω до 1 000 рад/с широко используются в составе турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей малой тяги и энергоустановок летательных аппаратов, что обусловливается широким диапазоном изменения их режимных параметров. Например, при угловой скорости от 3 000 до 10 000 рад/с значение \dot{V}/ω достигает величин менее 10^{-7} м^3 при числе $Re_\omega > 10^5$. Снижение подачи \dot{V} в таких насосах, наряду с повышением угловой скорости ротора, приводит к уменьшению \dot{V}/ω обычно меньше значения $(\dot{V}/\omega) = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, предельно допустимого для центробежных насосов с закрытым рабочим колесом (РК) [1], поэтому широко используются ЦВН с полуоткрытым и открытым рабочим колесом.

Для различных соотношений ширины b и высоты h канала $b/h = 3; 2; 1; 0,65$ М. Ван-Дайком были представлены картины визуализации течений при обтекании прямоугольной впадины [2]. По мере уменьшения ширины впадины под первичным вихрем начинает расти вторичный. При стремлении к нулю отношения ширины к высоте образуется бесконечная последовательность вихрей, причем каждый из них слабее своего предшественника. С целью уточнения основных особенностей гидродинамики в каналах полуоткрытого РК проведен ряд экспериментов, в том числе и по визуализации течения в таких колесах. При испытании в широком диапазоне изменения расходных параметров насоса ($\dot{V} = 0 \dots 1,5 \dot{V}_{\text{ном}}$) и изменении осевого зазора от 0,5 до 3 мм получено, что для различных радиусов РК соблюдается постоянство отношения радиальной составляющей скорости $v_r/U = \varphi_R$. Это дает основание выразить скорость радиального течения в осевом зазоре от периферии РК в окружном направлении в виде

$$v_r = U\varphi_R = UK_R\varphi_\Lambda, \quad (1)$$

где K_R – экспериментальная константа, $K_R = 0,45$.

На основании исследований по визуализации потока и измерению гидродинамических параметров потока в зазоре между вращающимся РК с открытыми торцами лопаток и гладким корпусом можно представить модель струйно-вихревого обтекания каналов РК (рис. 1). Поток жидкости в межлопаточном канале такого РК подвергается непосредственному силовому воздействию лопаток. Жидкость в осевом зазоре a_1 закручивается за счет сил трения и проскальзывает относительно торцов лопаток

РК. Таким образом, на одном и том же радиусе частицы жидкости в канале и осевом зазоре движутся с различной окружной скоростью, что приводит к относительному их перемещению в радиальном и осевом направлениях.

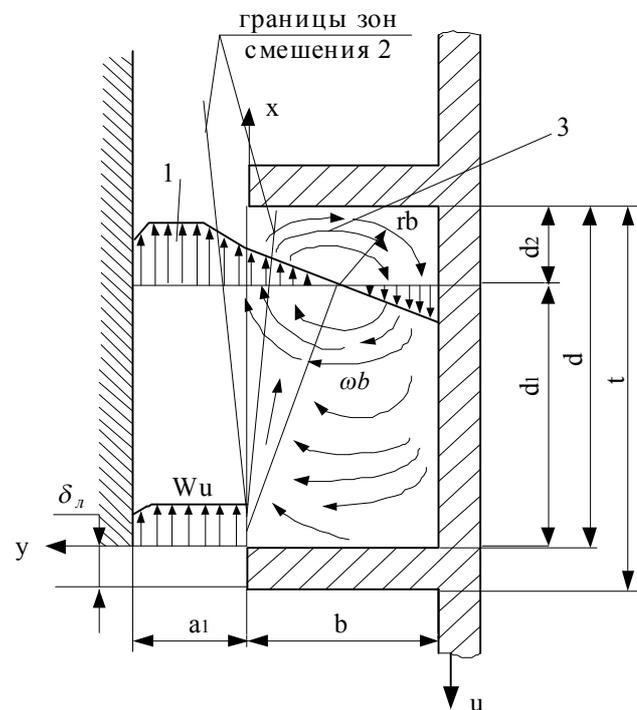


Рис. 1. Схема взаимодействия набегающего потока осевого зазора и потока в каналах колеса насоса:

- 1 – зона циркуляционного течения в канале колеса;
- 2 – зона набегающего потока осевого зазора;
- 3 – границы зоны смешения

Следовательно, как на входном участке РК с полуоткрытыми лопатками, так и по его радиусу не вся проточная часть каналов колеса заполнена потоком.

В окружном направлении движение потока жидкости в зазоре a_1 , относительно лопаток, приводит к образованию в каналах РК циркуляционной зоны, как следствие обтекания потоком впадин. Известно, что при течении жидкости в канале за плохо обтекаемым телом (в нашем случае лопатки ЦН) возникают отрывные течения, которые характеризуются образованием обратных токов и вихрей. Этот процесс в большей мере определяется отношением ширины лопатки b к расстоянию между ними

*Работа выполнена при поддержке грантов: АВИЦП РНП ВШ № 2.1.2/802, Президента РФ № МК – 1826.2008.8

$d = t - \delta_A$, толщиной пограничного слоя на стенке перед каналом и относительной высотой канала. Взаимодействие между струей и жидкостью в канале РК приводит к появлению циркуляционного течения в канале за лопаткой. В сечении при $y = 0$ поток, за счет его поджатия в осевом зазоре a_1 , равномерен и вследствие автотурбулентности турбулентных струй [3] параметры циркуляционной зоны не зависят от числа Re. Тогда для зоны смещения 2 значение относительной скорости потока выразится в виде

$$W_U = (U - U_{ж}) = U(1 - \bar{\omega}_{ж}). \quad (2)$$

Используя основные закономерности для свободных плоских струй с учетом известных опытов о деформации любого неравномерного профиля в струйный на очень малом расстоянии от кромки лопатки, получим границы для различных зон течения при обтекании межлопаточного канала конечной длины.

Для симметричной (относительно оси X) границы зоны смещения 2, разделяющей течение в канале от потока в зазоре a_1 , положение ее можно определить по выражению [3]

$$y = \pm 0,8829 x. \quad (3)$$

Сравнение полученных распределения давления с учетом визуализации течений в неподвижной впадине и во вращающихся каналах полуоткрытого РК дает основание полагать, что в каналах имеет место интенсивное вихревое течение с осью вихря, направленной по радиусу РК и со смещением вихря к напорной стороне лопатки. Циркуляционную зону в канале полуоткрытого РК (см. рис. 1) условно разделим на две области: интенсивного вращательного движения по окружности с радиусом r_b и циркуляционного по траекториям эллиптического характера. Величина радиуса вихревой зоны с учетом выражения (3) будет равна:

$$r_b = 0,519(b - 0,08829d). \quad (4)$$

Одной из характеристик вихревой зоны является соотношение окружной скорости и скорости набегающего потока W_u на внешней границе зоны вихря:

$$W_b = \frac{W_b}{W_u} = f\left(\frac{b}{a}\right).$$

Анализ специальных опытов работ [3; 4; 5] по определению расчетного значения \bar{W}_a дает основание принять его для наших исследований равным 0,3. Такое же значение \bar{W}_a приведено в ряде работ для неподвижного канала. Тогда выражение для угловой скорости вращения вихря в каналах РК на радиусе R с учетом принятого значения $\bar{W}_a = 0,3$ и зависимости (2) запишется в виде

$$\omega_b = \frac{\bar{W}_b(1 - \bar{\omega}_{ж})\omega R}{r_b} = \frac{\bar{W}_b(1 - \bar{\omega}_{ж})\omega R}{0,519(b - 0,08829d)}. \quad (5)$$

Экспериментальные данные в целом подтверждают принятую модель расчета каналов полуоткрытого РК в виде струйно-вихревого трехзонного течения, что позволяет провести расчет его геометрических параметров.

На размеры канала РК определяющее влияние оказывают параметры зоны смещения и вихревого течения. На основании опытов работ [2; 3; 4] следует отметить, что при обтекании квадратного канала $b/d = 1$ имеется один устойчивый вихрь, вращающийся почти как твердое тело.

При дальнейшем увеличении глубины канала до $b/d = 2$ наблюдаются две вихревые ячейки, расположенные одна над другой и имеющие противоположное направление вращения. С целью минимизации гидравлических потерь в каналах РК МН недопустимо многовихревое течение как по глубине, так и ширине канала.

Известно, что неравномерно набегающий поток, проходя через препятствие, распределенное по сечению канала, выравнивает свою скорость [6]. В сопротивлении, расположенном по фронту набегающего потока, жидкость растекается по препятствию и одновременно пересекает его через проходное сечение, создавая эффект односторонней проницаемости. Это положение было принято за основу для улучшения характеристик насосов. В качестве основного конструктивного материала выравнивающего элемента (ВЭ) использовали сетку из металлической проволоки, имеющей высокие механические свойства. Степень выравнивающего действия плоской тонкостенной решетки зависит от ее коэффициента сопротивления

$$\xi = \frac{2\Delta P}{\rho W^2}. \quad (6)$$

С ростом ξ увеличивается степень растекания среды по фронту. Поток с неравномерным полем скоростей до решетки становится более равномерным после нее при $\xi = 1,5 \dots 2,5$. С дальнейшим возрастанием коэффициента сопротивления профиль скорости за ВЭ становится «обратным» и минимум скорости расположен там, где перед решеткой скорость максимальна. Для ВЭ в виде металлической сетки с диаметром проволоки δ при $Re = \frac{W_o \delta}{\nu} > 10^3$ коэффициент сопротивления выражается зависимостью [6], получим следующее:

$$\xi = 1,3(1 - \bar{f}) + \left(\frac{1}{\bar{f}} - 1\right)^2, \quad (7)$$

где $\bar{f} = \frac{\sum F_{отв}}{F}$ – коэффициент проходного сечения сетки.

Для потока при числе $Re = 100 \dots 10^3$ коэффициент сопротивления оценивается по выражению (7) с поправкой $K_{Re} = 0,95$ [6].

Тогда

$$\xi = K_{Re} \left[1,3(1 - \bar{f}) + \left(\frac{1}{\bar{f}} - 1\right)^2 \right]. \quad (8)$$

Один из реальных путей повышения удельной мощности насоса состоит в совершенствовании процессов передачи энергии потоку жидкости в проточной части насоса, что реализуется установкой в его полостях выравнивающих элементов (ВЭ) в виде перфорированных решеток и сеток. Следует отметить широкое применение ВЭ при стабилизации потоков в неподвижных каналах и подробное исследование их взаимодействия на поток в части выравнивания поля скоростей, давлений и устранения колебаний в трубопроводах.

Для насосов с удельной подачей $\dot{V} / \omega = (1 \dots 5) \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ по приведенной методике рассчитаны оптимальные параметры сетки с коэффициентом проходного сечения $\bar{f} = 0,4 \dots 0,56$. Результаты сравнительных испытаний

насосов с РК без сетки и с сеткой ($\bar{f} = 0,5$) на выходе представлены на рис. 2. За счет выравнивания структуры потока напор насоса увеличивается на 15...20%. У высокооборотных насосов неравномерность потока выше и такая конструкция обеспечивает увеличение напора до 30%. Наличие сетки в области на входе в РК приводит к улучшению кавитационных характеристик насосов. Установка ВЭ уменьшает неравномерность поля скоростей жидкости за колесом, снижает отклонения потока жидкости от направления лопаток на выходе из РК и пульсаций давления.

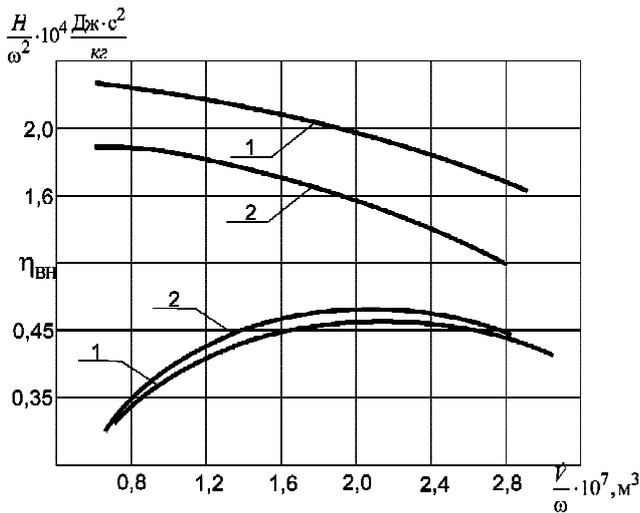


Рис. 2. Энергетические характеристики насоса: 1 – колесо с сеткой на выходе ($\bar{f} = 0,5$); 2 – колесо без сетки

Анализ структуры течения в каналах РК и боковой пазухе полуоткрытых и открытых РК центробежных МН, с учетом расчетных зависимостей (2)–(5) по оценке параметров вихревых зон и обратных течений позволяют рассчитать необходимые геометрические размеры ВЭ для постановки их вместо покрывного диска. Для оценки эффективности покрывных дисков различной проницае-

мости $\bar{f} = 0...1$ (рис. 3, а и б) испытан ряд насосов ($n_s = 40$) с РК одинакового наружного диаметра $D_2 = 41$ мм. В процессе исследований меняли покрывные диски, изготовленные из металлических сеток с различным коэффициентом проходного сечения и оценивали изменение параметров насоса по напору и КПД.

При постановке ВЭ на наружном или промежуточном диаметре РК максимум КПД смещается в сторону меньших расходов, что позволяет настраивать характеристику насоса. Сравнение энергетических характеристик насосов позволяет выбрать конструкцию РК с учетом требований к системе подачи. С целью улучшения энергетических характеристик насосов путем выравнивания поля скоростей потока на выходе из РК, ВЭ выполнялись с переменным коэффициентом живого сечения по шагу канала РК, увеличивающимся от тыльной к напорной стороне соседней лопатки (рис. 3, в). Результаты испытаний модельных МН показали повышение напора насоса до 20% при смещении в область меньшего расхода точки наибольшего КПД без изменения его величины.

Зависимость прироста создаваемого колесом напора и КПД от коэффициента живого сечения пронизываемого диска по сравнению с колесом без покрывного диска $\bar{f} = 1$ изображена на рис. 4. Наибольший прирост отмечен у колеса со сплошным диском $\bar{f} = 0$. Колесо без диска $\bar{f} = 1$ имеет и максимальный прирост по КПД, который составил 4% на режиме $\bar{V} = 1$ и 2% при $\bar{V} = 0,5$ (рис. 4).

Наибольший КПД и напор, создаваемый колесом с диском $\bar{f} = 0$, объясняются полным разделением потоков в полости колеса и боковой пазухе и ликвидацией перетечек, а также взаимодействия между потоками. Колесо с диском $\bar{f} = 0,2$ несколько уступает по КПД и создаваемому напору колеса с диском $\bar{f} = 0$, но имеет на 30...40% меньше осевую силу.

Распределение давления и величина коэффициента закрутки жидкости Φ в пазухе насоса зависит от коэффициента сопротивления и коэффициента живого сечения пронизываемого диска и изменяется от $\phi = 0,5$ – для сплош-

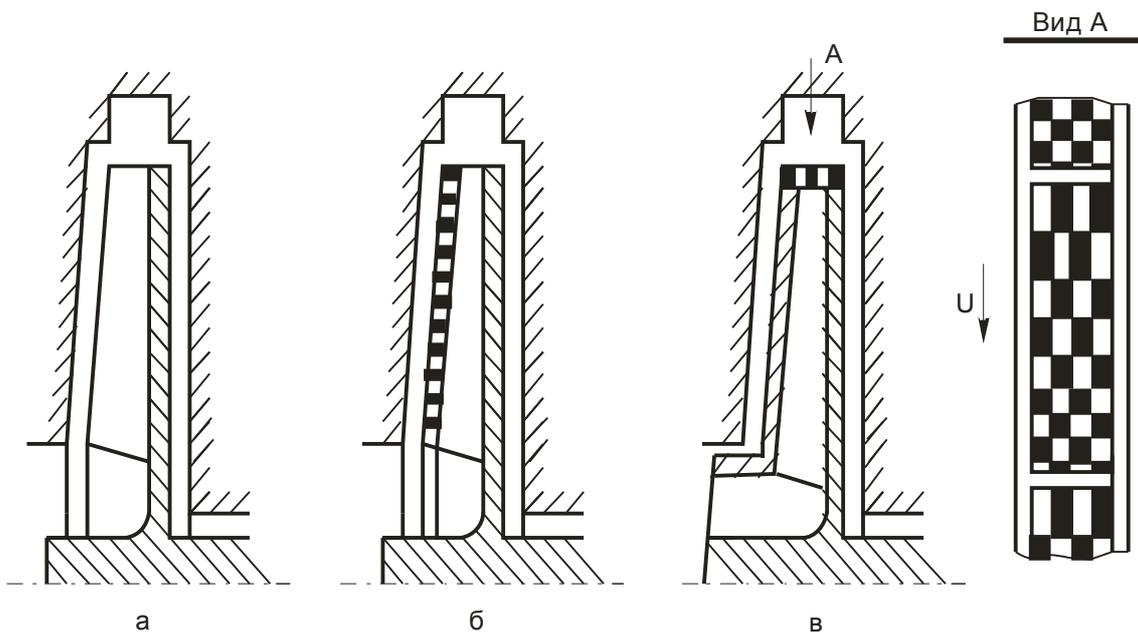


Рис. 3. Типы испытанных рабочих колес

ного покрывного диска, до $\varphi = 0,9$ – при отсутствии покрывного диска.

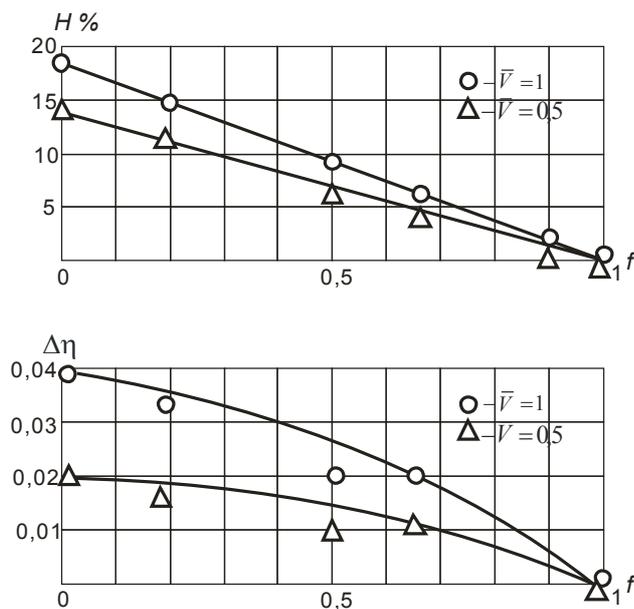


Рис. 4. Влияние проницаемости диска на характеристики насоса

M. V. Kraev, E. M. Kraeva

POWER PARAMETERS' IMPROVEMENTS FOR CENTRIFUGAL PUMPS WITH A SEMI OPEN-TYPE IMPELLER

Data for power parameters' improvement for centrifugal pumps with semi open-type impeller was acquired. It is based on the theoretical analysis of canal flows with a semi open-type impeller in the pump side spacing and information collected experimentally.

Keywords: compensating element, coefficient of efficiency, head, pump, impeller.

© Краев М. В., Краева Е. М., 2009

UDC 621.675-181.4:629.78

E. M. Kraeva

ON CALCULATION OF MOMENT OF RESISTANCE IN CANALS OF LOW-RATE CENTRIFUGAL PUMPS*

In our calculations we make use of the system of equations for turbulent boundary-layer pulses in projections onto the cylindrical coordinate axes. We have performed transformations and integration of equations in the presence of accepted assumptions on the flow core motion pattern and compared the theoretical results with the empirical data.

Keywords: moment of resistance, high-speed, low-rate, centrifugal pump.

High-speed low-rate centrifugal pumps with rotor angular velocity ω of up to 10000 rad/s have a wide use in the turbo-

pump units of liquid-propellant engines of low traction and aircraft energy installation. They have wide range of

This research is sponsored by state grant MK-1826.2008.8 and state program «Scientific Potential of Higher Institutes of Education Development» № 2.1.2/802.

operating conditions e. g. if the rotor angular velocity $\omega = 3000 \div 10000$ rad/s, the value \dot{V}/ω is equal to $1 \cdot 10^{-7} m^3$ under the Reynolds number $Re_\omega > 10^5$. The feed decrease in such pumps parallel with rotor angular velocity increase leads to \dot{V}/ω decrease below value $\dot{V}/\omega = 1 \cdot 10^{-6} m^3$. It is a rating value for closed-type impeller rotary pumps [1]. Therefore high-speed rotary pumps with semi open-type impeller are widely used.

For the low-rate centrifugal pumps (LCP) the moment of resistance in the pump canal is half of the total resistance moment in the LCP case. For this reason the problem for determining the moment of resistance is of great importance.

In this paper we speak about the pump canal. The flow in the canal is divided by a convention of the core and the boundary layer; the liquid movement in the core is axisymmetrical: flow streamlines are closed annular lines. When the liquid passes between two coaxial cylinders [2] the circumferential velocity U is distributed according to $UR = \text{const}$. For the pump canal this formula is done with sufficient accuracy in regimes when the flow rates are close to optimal.

If we split the solution into two parts, one of which corresponds to the moment of resistance on the face wall of the pump canal $M_{f.w}$, and the other part corresponds to the moment on the cylindrical peripheral part $M_{p.w}$ (fig. 1). Let us pass from the natural coordinates to the cylindrical coordinates $\varphi = \alpha$ and $\psi = R$. Based on the accepted assumptions we suppose that the liquid flow is axisymmetrical, hence the terms containing $\partial/\partial\alpha$ are equal to zero; $UR = C = \text{const}$, the Lamé coefficients for the cylindrical coordinates $H_\varphi = H_\alpha = R, H_\psi = H_R = 1$; the derivative of the coefficient $\partial H_\varphi/\partial\psi = \partial H_\alpha/\partial R = \partial R/\partial R = 1$; the pressure derivative $\partial p/\partial R = \rho C^2/R^3$.

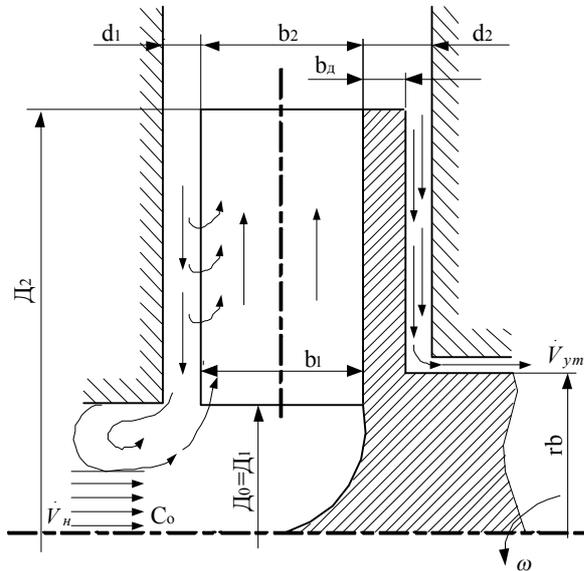


Fig. 1. Scheme of calculations

The equations for the spatial turbulence layer (TL) pulse in the natural coordinates φ and ψ [2; 3].

We get:

$$\frac{\partial \delta_{aR}^{**}}{\partial R} + \frac{R}{C} \frac{\partial (C/R)}{\partial R} (\delta_R^* - 2\delta_{aR}^{**}) + \frac{1}{R} (\delta_R^* - 2\delta_{aR}^{**}) = \frac{\tau_{0a}}{\rho U^2};$$

$$\frac{\partial \delta_R^{**}}{\partial R} + \frac{2\delta_R^{**}}{C} \frac{\partial (C/R)}{\partial R} + \frac{1}{R} (\delta_R^{**} + \delta_a^{**} + \delta_a^* - \delta) + \frac{1}{R} (\delta_R^* - 2\delta_{aR}^{**}) = -\frac{\delta}{R} - \frac{\tau_{0R}}{\rho U^2}. \quad (1)$$

If we take the derivatives and perform the necessary reductions, we modify the system (1) to a simpler form:

$$\frac{\partial \delta_{aR}^{**}}{\partial R} = \frac{\tau_{0a}}{\rho U^2};$$

$$\frac{\partial \delta_R^{**}}{\partial R} + \frac{1}{R} (\delta_a^{**} + \delta_a^* - \delta_R^{**}) = -\frac{\tau_{0R}}{\rho U^2}. \quad (2)$$

Where the characteristic thicknesses of spatial boundary layer are:

– momentum thickness of the longitudinal flow in the direction α

$$\delta_a^{**} = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{U}\right) \frac{u}{U} dy;$$

– momentum thickness of the longitudinal flow in the lateral direction

$$\delta_{aR}^{**} = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{U}\right) \frac{\omega}{U} dy;$$

– momentum thickness of the cross flow in the direction R

$$\delta_R^{**} = \int_0^\delta \frac{\omega^2}{U^2} dy.$$

Here U, ω are the velocities of the longitudinal and cross flows within the limits of boundary-layer thickness δ ; U is the velocity in the flow core on the boundary-layer interface.

The system of differential equations (2) has seven unknown functions in two equations. Making use of the recommendations from [4], we reduce the number of the unknown functions. The expression for the circumferential component of friction stress is the same as the expression for 2-D boundary layer:

$$\frac{\tau_{0a}}{\rho U^2} = 0,01256 (Re^{**})^{-0,25} = 0,01256 \left(\frac{U \delta_a^{**}}{\nu}\right)^{-0,25} = 0,01256 \left(\frac{C \delta_a^{**}}{R \nu}\right)^{-0,25}, \quad (3)$$

where ν – is the liquid viscosity; ρ – is the liquid density; U – is the velocity in the flow core on the BL interface. For the radial component we have $\tau_{0R} = \varepsilon \tau_{0a}$, where ε is the tangent of the angle specifying the direction of bottom streamlines and the wall stress. We introduce the relative significantly positive values

$$I = \frac{\delta_{aR}^{**}}{\varepsilon \delta_a^{**}}; K = \frac{\delta_R^*}{\varepsilon \delta_a^{**}}; L = \frac{\delta_R^{**}}{\varepsilon^2 \delta_a^{**}}; H = \frac{\delta_a^*}{\delta_a^{**}},$$

which are considered to be constant. Let us make substitutions and take the derivatives

$$I \left(\delta_a^{**} \frac{\partial \varepsilon}{\partial R} + \varepsilon \frac{\partial \delta_a^{**}}{\partial R} \right) = 0,01256 \left(\frac{C \delta_a^{**}}{R \nu} \right)^{-0,25};$$

$$L \left(2\delta_a^{**} \varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial R} + \varepsilon^2 \frac{\partial \delta_a^{**}}{\partial R} \right) + \frac{1}{R} (\delta_a^{**} + H\delta_a^{**} - L\varepsilon^2 \delta_a^{**}) = -0,01256 \varepsilon \left(\frac{C \delta_a^{**}}{R \nu} \right)^{-0,25}. \quad (4)$$

For the velocity distribution laws in BL of longitudinal $\bar{U} = (y/\delta)^{1/7}$ and lateral $\bar{w} = 2,12\bar{u}(1-\bar{u}^3)$, in accordance with [3] we have $H=1,28$; $I=0,46$; $L=0,8$; $K=2,46$. After modifying (4) we obtain the system of two differential equations with two unknowns ε and δ_α^{**} :

$$\begin{aligned} 0,46\varepsilon \frac{\partial \delta_\alpha^{**}}{\partial R} + 0,46\delta_\alpha^{**} \frac{\partial \varepsilon}{\partial R} &= 0,01256\varepsilon \left(\frac{C\delta_\alpha^{**}}{Rv} \right)^{-0,25}; \\ 0,8\varepsilon^2 \frac{\partial \delta_\alpha^{**}}{\partial R} + 1,6\varepsilon\delta_\alpha^{**} \frac{\partial \varepsilon}{\partial R} + \frac{\delta_\alpha^{**}}{R} (2,28 - 0,8\varepsilon^2) &= \\ &= -0,01256\varepsilon \left(\frac{C\delta_\alpha^{**}}{Rv} \right)^{-0,25}, \end{aligned} \quad (5)$$

where ε – is the tangent of angle of bottom streamline skewness; δ_α^{**} – is the momentum thickness in the circumferential direction.

After examining the system of quasi-linear partial differential first-order equations (5) with the aid of the characteristics method [5] we obtain the directions of characteristics of two families coinciding with the angles of their incidence equal to zero. It means that the characteristic of (5) coincides with the coordinate axis R at $\partial/\partial\alpha = 0$. Physically, the momentum thickness δ_α^{**} cannot be constant, since the static pressure p (force factor connected with variation of pulse with elementary volume) varies along R . It is apparent that the final relation is $\varepsilon = \varepsilon_0 = \text{const}$.

Numerous tests for bottom streamline visualization on the surface of canal in wide range of regime and geometrical parameters of LCP have shown that the value of ε varies along the radius and is

$$\begin{aligned} \text{ctg}\varepsilon_{\text{cpi}} &= \frac{2C_{2m}D_24\pi}{U_2D_i} \times \\ &\times \left[\arccos \left(\frac{D_2}{D_1} \cos\beta_{2n} + \frac{R_i}{2R_n} - \frac{R_2^2}{2R_nR_i} \right) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

obtained in the case wall facing to the impeller [3]. We have expressed the derivatives in (5) in the explicit form:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta_\alpha^{**}}{\partial R} &= 0,0703\varepsilon^{-1} \left(\frac{C\delta_\alpha^{**}}{Rv} \right)^{-0,25} + \frac{\delta_\alpha^{**}}{R} (2,853\varepsilon^{-2} - 1); \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial R} &= \frac{1}{\varepsilon R} (\varepsilon^2 - 2,853) - \frac{0,043}{\delta_\alpha^{**}} \left(\frac{C\delta_\alpha^{**}}{Rv} \right)^{-0,25}, \end{aligned} \quad (7)$$

and replaced the differential relation for ε and pass to the complete differentials:

$$\frac{d\delta_\alpha^{**}}{dR} = 0,0703\varepsilon^{-1} \left(\frac{C\delta_\alpha^{**}}{Rv} \right)^{-0,25} + \frac{\delta_\alpha^{**}}{R} (2,853\varepsilon^2 - 1). \quad (8)$$

The system (7) can be easily integrated numerically. We note that the initial value of $\delta_{\alpha 0}^{**}$ had been calculated with the use of the technique from [3] in accordance with the principle of BL closure. The results of integrating δ_α^{**} for three different values of C are presented in fig. 2.

Determining the resistance moment $M_{f.w}$ on the face lateral wall of the canal:

$$M_{f.w} = \int_{R_2}^R \tau_{0\alpha} 2\pi R^2 dR, \quad (9)$$

where $\tau_{0\alpha}$ – is the circumferential component of friction stress determined from (4); R_2 – is the radius at the impeller outlet; R – is the canal radius. We have modified (8) into the form

$$\begin{aligned} M_{f.w} &= \int_{R_2}^R 0,01256\rho (C/R^2) (C\delta_\alpha^{**}/Rv)^{-0,25} 2\pi R^2 dR, \\ M_{f.w} &= 0,07892\rho C^{1,75} v^{0,25} \int_{R_2}^R (\delta_\alpha^{**}/R)^{-0,25} dR. \end{aligned} \quad (10)$$

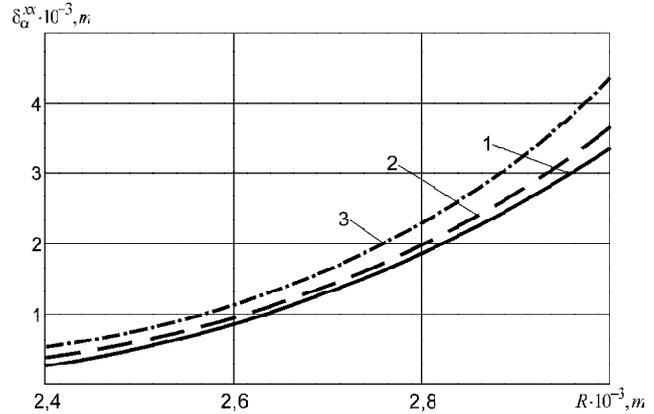


Fig. 2. Distribution of momentum thickness in the circumferential direction for different values of parameter C :

$$1 - C = 1,8 \frac{m^2}{s}; \quad 2 - C = 1,2 \frac{m^2}{s}; \quad 3 - C = 0,6 \frac{m^2}{s}$$

The expression (9) is integrated joined with the system (7).

Determining the resistance moment across the cylindrical peripheral part of runner hub M_p we assume that the value of momentum thickness δ_α^{**} doesn't vary along the width and is equal to the final value of $\delta_{\alpha c}^{**}$ on the face wall in the radius R . The expression for momentum of resistance on the cylindrical peripheral wall of the canal will then be written

$$\begin{aligned} M_{p.w} &= 2\pi R^2 b \tau_{0\alpha}, \\ M_{p.w} &= 0,07892\rho C^{1,75} v^{0,25} b (\delta_{\alpha c}^{**}/R)^{-0,25}, \end{aligned}$$

where b – is the canal width.

The experimental data on the resistance moment in the pump canal and the data obtained from (7), (9), (10) coincide with sufficient accuracy which corroborates the validity of the accepted assumptions and the herein presented solution.

We must note that the relations (7), (9), (10) and the solution of the system of equations [2] for liquid rotating over the stationary base in accordance with the solid body law represent in general the closed system of equations for rotor (disk) rotation in closed conditions ensuring the turbulent regime of liquid flow.

Bibliography

1. Kraev, M. V. Low-rate pumps of air and space system / M. V. Kraev, V. A. Lukin, B. V. Ovsyannikov. Moscow : Mashinostroenie, 1985.
2. Loitsyanskii, L. G. Mechanics of Fluids / L. G. Loitsyanskii. Moscow : Nauka, 1970.
3. Schlichting, H. Theory of boundary layer / H. Schlichting. Moscow : Nauka, 1969.

4. Stepanov, G. Yu. Hydrodynamics of Turbo-Machine Cascades / G. Yu. Stepanov. Moscow : Fizmatgiz, 1962.

5. Turchak, L. I. Fundamentals of Numerical Methods / L. I. Turchak. Moscow : Nauka, 1987.

Е. М. Краева

К РАСЧЕТУ МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ В КАНАЛАХ МАЛОРАСХОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Для расчета использована система уравнений импульсов турбулентного пограничного слоя в проекциях на оси цилиндрических координат. При принятых допущениях о характере движения ядра потока выполнены преобразования и проведено интегрирование уравнений. Полученные теоретические результаты сравниваются с эмпирическими.

Ключевые слова: момент сопротивления, высокооборотный, малорасходный, центробежный насос.

© Краева Е. М., 2009

УДК:629.78.015

Ю. М. Ермошкин, С. А. Орлов, А. Ю. Усанов

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИЛЬФОННЫХ БАКОВ

Рассматриваются вопросы формирования режимов квалификационных и приемочных испытаний сильфонных баков на механические нагрузки, анализируются методические ошибки, выявленные в процессе проведения испытаний.

Ключевые слова: космический аппарат, бак, блок хранения и подачи, механические испытания, резонанс.

В монотопливных двигательных установках отечественных космических аппаратов (КА) уже на протяжении нескольких десятков лет успешно применяются блоки хранения и подачи топлива (БХП) на основе сильфонных баков. Для использования БХП в составе КА нового поколения (с иными уровнями механических нагрузок) возникла необходимость проведения его доквалификации на механические воздействия.

Объем наземной экспериментальной отработки и приемных испытаний оборудования КА на механические воздействия включает испытания на линейные, вибрационные, ударные воздействия [1; 2]. Режимы нагружения формируются из анализа условий эксплуатации оборудования, его массы и местоположения на КА.

Предприятие-изготовитель БХП покупает готовые баки у другого изготовителя, оснащает его дополнительным оборудованием, в результате чего появляется БХП как элемент двигательной подсистемы КА.

При проведении доводочных испытаний БХП на механические воздействия произошло разрушение сильфонов двух баков (по внешнему сварному шву гофра). При этом разрушение произошло не в околосшовной зоне, как это обычно бывает, если шов качественный, а непосредственно по шву, что указывает на недостаточное качество соединения. Необходимо отметить, что в данной конструкции бака сварные соединения являются критическим элементом, определяющим прочность всей конструкции, так как толщина свариваемых деталей мала, а

общая длина швов достигает сотен метров. Однако все поставленные для комплектации БХП баки успешно прошли приемочные испытания на заводе-изготовителе.

Для установления причины разрушения сильфонов баков, формирования режимов квалификационных и приемочных испытаний были проведены дополнительные испытания двух БХП на механические нагрузки. Настоящая работа посвящена анализу результатов данных испытаний и выявлению возможных методических ошибок, не позволивших выявить дефекты изготовления в процессе проведения приемочных испытаний баков.

В процессе проведения испытаний необходимо было решить комплекс взаимодополняющих задач:

- выявить причины разрушения сильфона бака;
- разработать методики определения низших собственных частот сильфона, находящегося внутри корпуса бака;
- оценить влияния методики проведения испытаний на результаты испытаний;
- подтвердить или исключить влияния оборудования (оснастки, приспособлений, системы управления и т. д.) на результаты испытаний;
- уточнить режимы квалификационных и приемочных испытаний бака и БХП.

Испытания включали следующие виды воздействий:

- поиск резонансов в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц с уровнями 0,5 g и скоростью сканирования 2 окт/мин;

- испытания на гармоническую вибрацию в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц с уровнями от 1 до 12 g;
- испытания на широкополосную случайную вибрацию в диапазоне частот от 20 Гц до 2 кГц с уровнями от 0,02 до 0,2 g²/Гц;
- испытания на квазистатические нагрузки с уровнями ±10 g;
- ударные испытания с уровнями ±40 g.

Режимы испытаний были сформированы, исходя из условий эксплуатации БХП в составе КА, отечественной методической литературы [3; 4] и полностью согласованы с требованиями, представленными в источниках [1; 2]. Испытания проводились в несколько этапов с изменением уровней и длительности воздействий. При проведении испытаний на заводе-изготовителе БХП использовалось следующее оборудование:

- центрифуга Ц-100;
- стенд ударных испытаний СТ-800;
- вибрационный стенд LDS V894/440.

Предварительно была проведена аттестация испытательного оборудования и оснастки.

Минимальные собственные частоты оснастки находятся в области частот ~1000 Гц. Все оборудование соответствовало требованиям нормативной документации по точностям задания режимов испытаний и обеспечивало нагружение БХП и проведение измерений с отклонениями не превышающими:

- по амплитуде виброускорения ±10 %;
- уровню спектральной плотности виброускорения ±6 дБ;
- частоте вибрации ±2 % в диапазоне частот 5–2000 Гц;
- среднеквадратическому значению виброускорения ±4 %;
- величине ударного ускорения ±15 %;
- величине линейного ускорения ±10 %.

Описание конструкции бака.

Для дальнейшего анализа и установления причин разрушения сиффона рассмотрим конструкцию сиффонного бака (рис. 1). Бака состоит из цилиндрического корпуса 1 со сферическими днищами 2. С одной из сторон по торцу цилиндра 1 приварен сиффон 3. На свободном

торце сиффона установлено фторопластовое кольцо 4, обеспечивающее скольжение сиффона по корпусу 1 в осевом направлении, но ограничивающее его перемещение в боковых направлениях. Между корпусом и сиффоном имеется минимальный зазор 5. Со стороны фторопластового кольца 4 в сферическом днище образована газовая полость 6. Сиффон при испытаниях заполнен имитатором топлива (водой).

Уже по результатам первых этапов испытаний стало понятно, что ударные и квазистатические воздействия (линейные нагрузки) не могут быть причиной повреждения БХП, так как даже разрушившиеся баки эти нагрузки выдержали без потери герметичности сиффона. Эти результаты подтверждают расчетные оценки напряжений на элементах бака, которые показали, что максимальные напряжения в сиффоне при заданных нагружениях должны быть в 8–10 раз меньше допустимых.

До начала испытаний также была проведена оценка нижних собственных частот сиффона и бака. Численное значение низшей частоты сиффона составило 8 Гц. Оценка напряжений и собственных частот сиффона проводилась по методике [5]. Оценка низшей собственной частоты корпуса бака, выполненная по методике [6], составила величину ~300 Гц. Собственные частоты арматуры БХП (точки контроля 1, 2, 4, 7) находятся в области частот 150–500 Гц (эти результаты были получены при более ранних испытаниях БХП). Таким образом, оснастка с собственными частотами выше 1 000 Гц не могла оказать влияния на прочность низкочастотного сиффона, а также отклики корпусных частот бака и арматуры. Поэтому основное внимание было уделено анализу режимов вибрационного нагружения БХП и методики их реализации.

Места установки акселерометров на корпусе бака для регистрации ускорений при проведении вибрационных испытаний (точки без индексов означают регистрацию ускорений в трех направлениях) изображены на рис. 2.

Целью первого этапа испытаний было определение низших собственных частот сиффона. Так как непосредственное измерение частоты на заправленном сиффоне в герметичном баке под давлением выполнить невозможно, то экспериментальные данные о собственной частоте

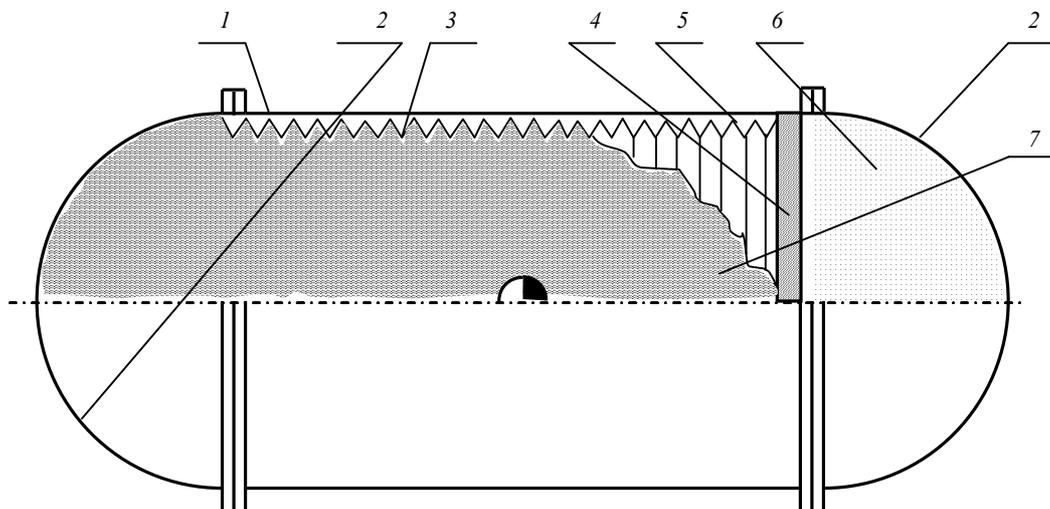


Рис. 1. Принципиальная схема бака

те сильфона получали методом косвенных измерений. Для обоснования возможности таких измерений на одном из образцов БХП в области датчика 5Y на корпусе был выполнен сквозной паз, и на сильфон был установлен вибрационный датчик в плоскости нахождения датчиков 5. При вибрационном нагружении данного БХП по методу качающейся частоты [4] (скорость сканирования 0,6 окт/мин и уровень нагружения 0,5 g) датчик на сильфоне и датчики 5Y, 5Ya, 5Z показали наличие резонансов на одних и тех же частотах. Таким образом, по показаниям датчиков 5Y, 5Ya, 5Z можно судить о собственных частотах сильфона БХП. Этот эффект легко объясняется тем, что между сильфоном и корпусом бака зазор составляет малую величину (~1 мм), и при возникновении резонансных явлений сильфон соударяется с корпусом бака с частотой резонанса, что и регистрируют датчики, установленные на корпусе.

Следующий этап испытаний заключался в определении нижней собственной частоты заправленного сильфона в составе БХП. Испытания проводились с разными скоростями сканирования по частоте (2 и 0,5–0,6 окт/мин).

Частотные испытания БХП с заполненным баком, проведенные со скоростью сканирования 2 окт/мин, показали отсутствие резонансных частот до 17 Гц (рис. 3). Таким образом, согласно общепринятым методикам, например, проводить вибрационные испытания можно с частоты 10 Гц [7]. Такой подход был реализован на заводе-изготовителе бака при проведении контрольно-выборочных и приемочных испытаний.

Однако (рис. 4), при уменьшении скорости прохождения низкочастотного диапазона до 0,5–0,6 окт/мин в частотном диапазоне 7–8 Гц появился резонанс (увеличение амплитуды колебаний в 2–4 раза), который на рис. 3 отсутствует.

Этот эффект можно объяснить следующим образом: наличие в сильфоне большой массы жидкости делает его достаточно инерционным. При скорости 2 окт/мин резонансы не успевают развиваться, что ошибочно принимает-

ся при анализе таких виброграмм за отсутствие резонансов вообще. Однако при уменьшении скорости до 0,6 окт/мин успевают возникнуть колебания массы жидкости и сильфона в низкочастотной области (резонанс).

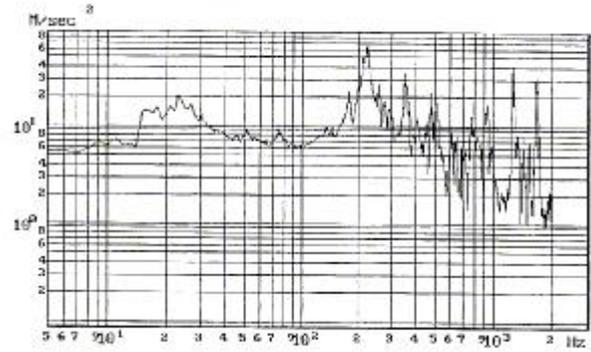


Рис. 3. Ускорение в точке 5Ya при частотных испытаниях со скоростью сканирования 2 окт/мин

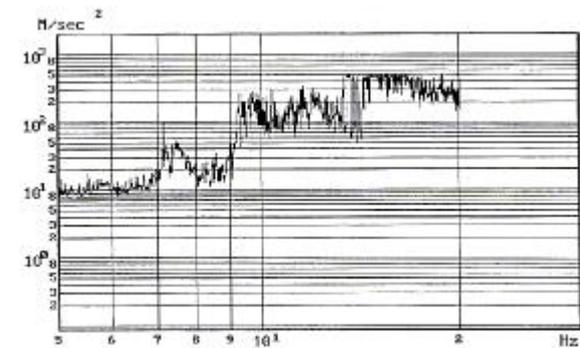


Рис. 4. Ускорение в точке 5Ya при вибрационных испытаниях со скоростью сканирования 0,6 окт/мин

Следует отметить, что на заводе-изготовителе бака предусматривались вибрационные испытания по методу ступенчатого изменения амплитуды ускорения для каждого поддиапазона частот от 10 до 2 000 Гц.

В то же время, на заводе изготовителе БХП методика испытаний заключалась в плавном изменении частоты

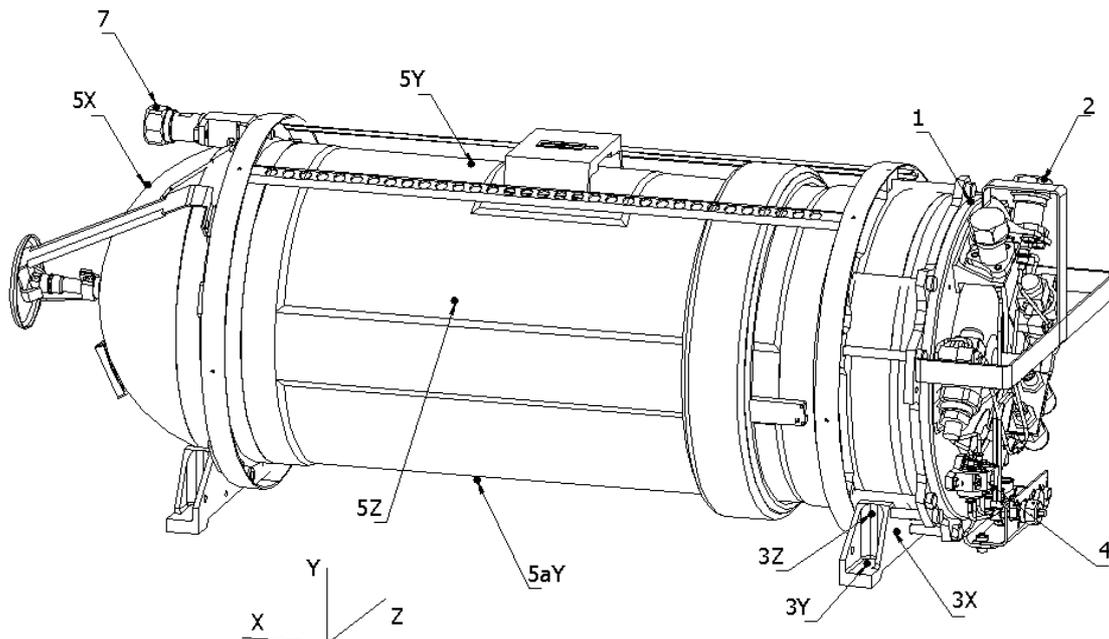


Рис. 2. Схема установки вибродатчиков на БХП при испытаниях

от нижней границы в 5 Гц к верхней в 2 000 Гц с плавным же изменением амплитуды ускорений от 1 до 12 g (метод качающейся частоты). Также проводились испытания на широкополосную случайную вибрацию, эквивалентную гармонической, с уровнем до 0,2 g²/Гц.

Выявленные отличия в методиках испытаний бака и БХП потребовали дополнительного анализа. Проведение испытаний с частоты 10 Гц исключает нагружение сильфона с максимальными деформациями в области резонансных частот 7–8 Гц, так как амплитуда перемещения обратно пропорциональна квадрату частоты [7]. Дополнительно к этому, при ступенчатом увеличении амплитуды нагружения после прохождения октавного диапазона происходит остановка вибростенда и выполняется перенастройка системы управления на новый уровень. Это приводит к затуханию возникших колебаний, и при прохождении следующего частотного диапазона требуются значительные затраты энергии, чтобы вновь вызвать колебания сильфона с жидкостью.

Справедливость данного утверждения подтверждается графиками отклика точки 5Ya при проведении испытаний БХП на случайную вибрацию (рис. 5, 6). Нижняя граница частотного диапазона составляла 20 Гц, и при проведении испытаний с уровнями воздействий до 0,05–0,07 g²/Гц (рис. 5) в диапазоне частот до 20 Гц отклик находился на уровне шумов. Но с увеличением уровня воздействия до 0,2 g²/Гц (рис. 6) энергии, закачиваемой в сильфон, оказалось достаточно для возбуждения низкочастотных колебаний даже в диапазоне частот, который был исключен из нагружения (ниже 20 Гц).

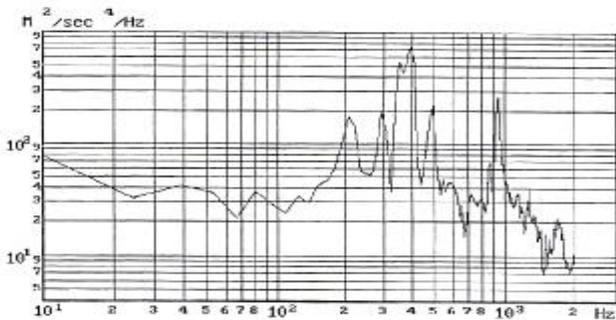


Рис. 5. Ускорение в точке 5Ya при испытаниях на широкополосную случайную вибрацию с уровнями до 0,07 g²/Гц

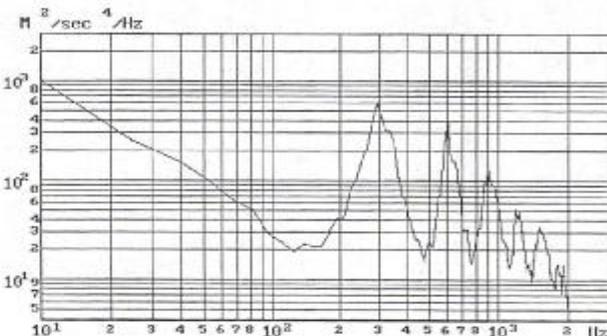


Рис. 6. Ускорение в точке 5Ya при испытаниях на широкополосную случайную вибрацию с уровнями до 0,2 g²/Гц

Отсюда становится понятно, что непосредственной причиной разрушения сильфона могут быть вибрационные нагрузки в низкочастотной области (до 10 Гц), воздействующие на участки швов сильфона с недостаточным качеством сварки.

Так как вибрационные воздействия в диапазоне частот до 10 Гц не используются при квалификационных, приемочных и контрольно-выборочных испытаниях (КВИ) бака на заводе-изготовителе, то дефекты сварки на этих испытаниях не выявлялись.

Испытания по методу качающейся частоты (нижняя граница частоты 5 Гц), применяемые у изготовителя БХП, ужесточают нагружение сильфона по сравнению с испытаниями по методу ступенчатого изменения амплитуды ускорения по поддиапазнам частот. Поэтому скрытые дефекты сварки швов выявились только на этапе испытаний БХП.

Отметим, что метод ступенчатого изменения амплитуды виброускорения применялся в 60–70-х гг прошлого века. В настоящее время, с появлением цифровых систем управления в стандартах ESA и NASA [1; 2], этот метод не рекомендуется к применению.

Таким образом, более качественная методика проведения вибрационных испытаний позволяет выявлять дефекты сварки сильфона. При этом следует заметить, что на заводе-изготовителе бака формально не были нарушены требования существующей нормативной документации на проведение испытаний. Но применяемая методика приемочных испытаний и КВИ фактически не позволила обнаружить дефекты изготовления сильфона.

Вместе с тем, анализ показывает, что в области средних и высоких частот наиболее близкой к реальному нагружению БХП в составе КА (по своему физическому воздействию) является широкополосная случайная вибрация, как отклик конструкции КА на акустические воздействия на участке выведения [1; 2; 7; 8]. Широкополосная случайная вибрация (ШСВ) позволяет проводить нагружение БХП в широком амплитудном и частотном диапазонах, не повреждая качественно изготовленное оборудование (рис. 6).

Исходя из сказанного выше, можно сделать следующие выводы и дать рекомендации:

- наиболее вероятной причиной разрушения сильфона бака при механических испытаниях БХП явилось недостаточное качество сварных соединений гофр сильфона, не выявленное на заводе-изготовителе бака, в сочетании с повышенными нагрузками при возникновении резонанса в низкочастотной области (5–8 Гц);
- при проведении приемочных испытаний и КВИ бака на заводе-изготовителе для надежного выявления скрытых дефектов сварки сильфона целесообразно использовать испытания на гармоническую вибрацию в низкочастотном диапазоне от 5 до 100 Гц (но не менее 5–20 Гц) по методу качающейся частоты со скоростью сканирования не выше 0,5–0,6 окт/мин;
- на заводе изготовителе БХП при приемочных испытаниях целесообразно применять широкополосную случайную вибрацию с уровнями 0,05–0,07 g²/Гц, а при квалификационных испытаниях – гармоническую вибрацию в низкочастотном диапазоне и широкополосную случайную вибрацию с уровнями до 0,2 g²/Гц.

Библиографический список

1. Product verification requirements for launch, upper-stage and space vehicles // MIL-STD-1540D. 15 January 1999.
2. Space engineering. Testing // ECSS-E10-03A. 15 February 2002.
3. Вибрации в технике : справ. Т. 5. Измерения и испытания / подред. М. Д. Генкина. М. : Машиностроение, 1981.
4. Испытательная техника : справ. Т. 2 / под ред. В. В. Ключева. М. : Машиностроение, 1982.
5. Сапожков, В. М. Прочность и испытания трубопроводов гидросистем самолетов и вертолетов / В. М. Сапожков, Г. С. Лагосюк. М. : Машиностроение, 1973.
6. Кан, С. Н. Строительная механика оболочек / С. Н. Кан. М. : Машиностроение. 1966.
7. Ленк, А. Механические испытания приборов и аппаратов / А. Ленк, Ю. Ренитц. М. : Мир, 1976.
8. Гладкий, В. Ф. Прочность, вибрация и надежность конструкции летательного аппарата / В. Ф. Гладкий. М. : Главная редакция физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1975.

Yu. M. Yermoshkin, S. A. Orlov, A. Yu. Usanov

CREATION OF THE FUEL SILPHON TANKS MECHANICAL TEST MODES

The fuel silphon tanks mechanical qualification and acceptance tests modes are researched. The methodical mistakes taking place during tests are analyzed.

Keyword: spacecraft, tank, storage and feed unit, mechanical tests, resonance.

© Ермошкин Ю. М., Орлов С. А., Усанов А. Ю., 2009



ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РОСТА МОНОКРИСТАЛЛОВ НА ПЕРЕНОС И НАКОПЛЕНИЕ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ В РАСТУЩЕМ КРИСТАЛЛЕ

Потоки примесных атомов (ПА) на каждом из участков $0 \leq x \leq l$ системы «расплав – растущий кристалл» представлены в виде выражения $j \approx aC(0) - bC(l)$, в котором a и b определены через скорости переноса ПА (конвективную – v_c , дрейфовую – v_d и термодиффузионную – v_u) соответственно в расплаве – (a_r, b_r) , в кристалле – (a_s, b_s) , а также на границе раздела фаз – (a_{sr}, b_{sl}) . Из условия квазистационарности процесса роста найдены коэффициенты распределения концентраций ПА на каждом из участков и определен общий коэффициент распределения ПА между объемом расплава и охлаждаемой частью растущего слитка $K = \frac{C_s}{C_l}$. Полученное выражение для K позволяет анализировать влияние режимов роста (скорости вытягивания слитка – v_c , градиента температур (через v_u) и силовых полей (через v_d) на перенос и накопление ПА в растущем кристалле.

Ключевые слова: примесные атомы, расплав, кристалл, условия роста.

О процессах переноса частиц в системе «расплав – растущий кристалл». При выращивании кристалла из расплава по методу Чохральского используются максимально возможные градиенты температур на фронте кристаллизации, а вытягивание слитка по мере его роста создает у границы раздела фаз упругие напряжения [1; 2]. В таком термоупругом поле осуществляется диффузионно-дрейфовый перенос примесных атомов и вакансий из расплава (l -фазы) в кристалл (s -фазы). При этом особую роль играет фильтрационный эффект на l/s -границе оттеснения ПА с $K_{ls} < 1$ в глубь расплава и экстракции тех из них, у которых $K_{ls} > 1$, где коэффициент фильтрации K_{ls} известен как коэффициент распределения ПА на границе раздела фаз:

$$K_{ls} = \frac{C_s(0)}{C_l(0)}, \quad (1)$$

где $C_s(0)$ и $C_l(0)$ – концентрации ПА соответственно в s - и l -фазах.

Расчет распределения $C_s(x)$ и $C_l(x)$ у l/s -границы в зависимости от режимов роста кристалла (градиентов температур, скорости вытягивания слитка v_c и т. д.) является необходимым этапом в определении эффективного коэффициента распределения ПА в l/s -системе

$$K_{ls} = \frac{C_s(d_s)}{C_l(-d_l)}, \quad (2)$$

где $C_s(d_s)$ и $C_l(-d_l)$ – входная (в объеме расплава) и выходная (в объеме слитка) концентрации частиц на расстояниях d_s и d_l от l/s -границы. При этом $C_l(-d_l)$ задается примесным составом расплава, а $C_s(0)$, $C_l(0)$ и $C_s(d_s)$ должны быть рассчитаны с помощью уравнений переноса частиц. Одновременно с этим должны быть определены и протяженности d_s и d_l активных зон в расплаве и кристалле, в которых и происходит перераспределение частиц в обе стороны от l/s -границы.

Из анализа гидродинамики расплава под вращающимся диском следует понимать, что d_l зависит от угловой скорости вращения ω , кинематической вязкости расплава η и коэффициента диффузии частиц D_l :

$$d_l \approx 1,6 \cdot D_l^{\frac{1}{6}} \cdot \eta^{\frac{1}{3}} \cdot \omega^{-\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

При этом движение расплава считается ламинарным с нормальной составляющей скорости у входа в d_l -зону

$$v_l = \frac{2D_l}{d_l}. \quad (4)$$

В кристалле же активной зоной следует считать высокотемпературный участок $0 < x < d_s$ с $T_0 < T < T_s \equiv T(d_s)$, прилегающий к расплаву $T(0) = T_0$, в котором дрейфовая скорость частиц v_d сопоставима со скоростью конвективного переноса среды (v_c), равной скорости роста кристалла. С точностью до фактора f ($>0,01$) в d_s -зоне это условие запишем в виде

$$v_d > f v_c. \quad (5)$$

Определив температурный интервал $\Delta T = T_0 - T_s$, в котором это условие выполняется, можно оценить протяженность d_s -зоны по формуле

$$d_s = \frac{\Delta T}{G}, \quad (6)$$

где $G = \frac{dT}{dx}$ – градиент температур. Для этого необходимо знать зависимость v_d от T . Известна следующая связь между силой, действующей на частицу, и v_d :

$$v_d = uF = u(F_x + F_0) = v_x + v_0, \quad (7)$$

где $u = \frac{D}{\theta}$ – подвижность частиц; D – их коэффициент диффузии, $\theta = \kappa T$, $F_x = -\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}$ – обычная сила (например, упругих напряжений, электрического поля); $F_0 = -\alpha G$ – термодиффузионная сила; α – коэффициент. Величина $\alpha T = \varepsilon_m$ может быть отождествлена с энергией миграции в коэффициенте диффузии

$$D = D_0 e^{-\frac{\varepsilon_m}{\theta}}. \quad (8)$$

Однако из-за слабой зависимости D_0 от T в кристалле добавкой к α , связанной с D_0 , можно пренебречь. В этом приближении

$$v_0 = uF_0 = G \cdot \frac{\partial D}{\partial T} = \frac{D \varepsilon_m}{\theta} \cdot \frac{G}{T}. \quad (9)$$

Проведем оценки выполнения условия (5) для типичного режима роста кристалла кремния методом Чохральского [1].

Пренебрегая силовыми полями ($F_x \ll F_y$) и учитывая, что в горячей зоне $T > 10^3$ К, $G > 50$ К/см, и что $\varepsilon_m \approx 1...2$ эВ, находим, что условие (5) выполняется, если $D > 10^{-5}...10^{-4}$ см²/с и, согласно (6), $d_s \approx 1...10$ см. Вакансии, междоузельные атомы и ПА с малыми ионами радиусами могут обладать такими большими коэффициентами диффузии и d_s . В то же время для ПА с малыми $D < 10^{-5}$ см²/с при обычных режимах роста должно быть $v_d \ll v_c$ и их перенос в кристалле будет определяться только конвективным путем со скоростью вытягивания слитка из расплава v_c .

В расплаве подвижность ПА на порядок выше, чем в кристалле и поэтому протяженность диффузионной зоны d_l будет лимитироваться в основном гидродинамикой (уравнением (3)).

Из изложенного следует, что для расчета эффективного коэффициента распределения ПА в системе «расплав – растущий кристалл» необходимо учитывать и конвективный, и диффузионно-дрейфовый процесс переноса ПА не только в расплаве, но и в кристалле (как в [3] для собственных точечных дефектов), а также на l/s -границе. То есть этот коэффициент согласно (1) и (2) должен быть представлен в виде

$$K = K_l \cdot K_{ls} \cdot K_s, \quad (10)$$

$$\text{где } K_l = \frac{C_l(0)}{C_l(-d_l)}, \quad K_s = \frac{C_s(d_s)}{C_s(0)} \quad (11)$$

– это коэффициенты распределения ПА, определяемые соответственно процессами переноса в d_l -зоне (K_l) и в d_s -зоне (K_s).

Исходные уравнения переноса. В конденсированных средах перенос частиц (в нашем случае – примесных атомов, вакансий и междоузельных атомов) происходит путем их перескока из одного квазиравновесного состояния в соседнее, разделенных средней длиной перескока (λ) и энергией активационного барьера (ε_m). Частота перескоков n определяется выражением

$$v = v_0 e^{-\frac{\varepsilon_m}{\theta}}, \quad (12)$$

где ε_m – энергия миграции; v_0 – энтропийный фактор.

При наличии силовых полей (упругих, электрических, термодинамических) частоты перескоков по полю (n) и против (μ) отличаются на фактор

$$\Gamma = \frac{\mu}{v} = e^{-\Delta}, \quad (13)$$

$$\text{в котором } \Delta = \frac{F\lambda}{\theta}, \quad (14)$$

где $\Delta\varepsilon_m = \lambda F$ – изменение высоты активационного барьера под действием силы F , вызывающей направленное перемещение частиц в среде со скоростью, определяемой уравнением (7)

$$v_d = uF. \quad (15)$$

С учетом (15) выражение (14) переписывается еще в таком виде:

$$\Delta = \frac{v_d \lambda}{D}. \quad (16)$$

В конвективной среде, как будет показано ниже, это выражение обобщается заменой v_d на $v = v_c + v_d$, где v_c – скорость конвекционного переноса (в нашем слу-

чае v_c – это скорость вытягивания слитка из расплава, равная скорости роста кристалла). Для слитков большого параметра, выращиваемых по методу Чохральского, можно ограничиться анализом переноса частиц в одномерном приближении, пренебрегая боковыми эффектами. Введем нумерацию атомных плоскостей, параллельных l/s -границе, индексом r , так, что c_r, v_r, μ_r, ν_r и т. д. – это параметры уравнений переноса с координатой $x_r = r\lambda$, где λ – межплоскостное расстояние (в расплаве – это среднее межатомное расстояние). Для простоты будем считать, что каждая из атомных плоскостей образует энергетический барьер, поток частиц через который в перескоковой модели может быть описан следующим выражением:

$$j_r = \lambda(v_r C_r - \mu_{r+1} C_{r+1}), \quad (17)$$

где C_r и C_{r+1} – концентрации частиц в двух смежных межплоскостных состояниях; v_r и μ_{r+1} – частоты перескоков вперед и обратно через r -й атомный слой. Соответственно, уравнение кинетики накопления частиц в r -м состоянии приобретает вид

$$\frac{\partial C_r}{\partial t} = j_{r-1} - j_r. \quad (18)$$

С учетом (17) и (13) в обозначениях

$$Y_r = \lambda v_r C_r, \quad \Gamma_r = \frac{\mu_r}{v_r}, \quad (19)$$

уравнения (17) и (18) переписутся в более компактной форме:

$$j_r = Y_r - \Gamma_{r+1} Y_{r+1} \quad (20)$$

и

$$\frac{\partial C_r}{\partial t} = (Y_{r-1} - \Gamma_r Y_r) - (Y_r - \Gamma_{r+1} Y_{r+1}). \quad (21)$$

В приближенном сплошной среды заменой

$$Y_{r+1} \rightarrow Y + \lambda Y' + \frac{1}{2} \lambda^2 Y''$$

$$Y_{r-1} \rightarrow Y - \lambda Y' + \frac{1}{2} \lambda^2 Y''.$$

Уравнения (20) и (21) превращаются в их дифференциальные аналоги

$$j = v_d C - \frac{\partial}{\partial x}(CD) \quad (22)$$

и

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial j}{\partial x}. \quad (23)$$

При этом для дрейфовой скорости v_d и коэффициента диффузии (D) получаются следующие выражения:

$$D = \frac{1}{2}(v + \mu)\lambda^2, \quad v_d = (v - \mu)\lambda. \quad (24)$$

Перепишем уравнение (22) еще в таком виде:

$$j = vC - \frac{\partial}{\partial x}(CD). \quad (25)$$

Здесь v – суммарная скорость переноса частиц

$$v = v_d + v_0, \quad (26)$$

где v_0 находится из уравнения

$$Cv_0 = -\frac{\partial}{\partial T}(CD)G, \quad (27)$$

которое представляет собой термодиффузионную составляющую потока, определяемую градиентом температур $G = \frac{\partial T}{\partial x}$ и явной зависимостью C и D от температуры.

Введем термодиффузионную силу (ТДС) по формуле

$$F_\theta = -\alpha G, \quad (28)$$

где α – коэффициент ТДС. Тогда, замечая, что

$$v_\theta = uF_\theta = \frac{1}{\theta} DF_\theta,$$

получим для α следующее выражение:

$$\alpha = \theta \frac{\partial}{\partial T} \lambda n(CD). \quad (29)$$

Интегральная форма уравнений переноса. Поток частиц через однородный участок среды при наличии градиента температур (G) и силовых полей (F) можно выразить через концентрации частиц $C(0)$ и $C(l)$ на границах участка $0 \leq x \leq l$. Для этого проинтегрируем уравнение (22) при соответствующих граничных условиях. В результате получим

$$\int_0^l j(x) e^{-(\Delta_c + \Delta_d)} dx = D(0) [C(0) - C(l) e^{-\Delta(l)}], \quad (30)$$

где

$$\Delta = \Delta_d + \Delta_c + \Delta_\theta, \quad (31)$$

$$\Delta_c = \int_0^l \frac{v_c dx}{D}, \quad \Delta_d = \int_0^l \frac{F_d dx}{\theta}, \quad (32)$$

$$\Delta_\theta = \int_0^l \frac{v_\theta dx}{D} = -\frac{D(l)}{D(0)}, \quad v_d = uF_d. \quad (33)$$

При этом учтено, что

$$v_\theta = -\frac{\partial D}{\partial x}, \quad u_d = \frac{D}{\theta}. \quad (34)$$

Напомним, что v_c , v_d , v_θ – соответственно конвективная, дрейфовая и термодиффузионная скорости переноса частиц; u_d – их подвижность; F_d – сила, вызывающая дрейф частиц.

В стационарном режиме роста кристалла поток частиц j независим от x и поэтому из (30) следует, что

$$j = \frac{D(0)}{L} [C(0) - C(l) e^{-\Delta(l)}], \quad (35)$$

где

$$L = \int_0^l e^{-(\Delta_c + \Delta_d)} dx. \quad (36)$$

Для вычисления интегралов (32) – (36) требуется знание зависимости $T(x)$, $D(x)$ и $F(x)$ от координаты x . В однородном слитке, выращиваемом по методу Чохральского, поток тепла из расплава в охлаждаемую часть слитка постоянен и поэтому градиент температуры G не зависит (или слабо зависит) от x по крайней в d_x -зоне. Практически приемлемым можно считать приближение, в котором и F_d постоянно в пределах d_l - и d_s -зон. В таком случае интегралы (32) и (36) могут быть представлены в виде

$$\Delta = \frac{v}{v_\theta}, \quad v = v_\theta + v_d + v_c, \quad (37)$$

$$L = \frac{D(0)}{v} (1 - e^{-\Delta}). \quad (38)$$

Соответственно выражение для пока частиц (3,6) перепишется

$$j = aC(0) - bC(l), \quad (39)$$

где

$$b = ae^{-\Delta} \quad (40)$$

$$a = \frac{D(0)}{L} = v [1 - e^{-\Delta}]^{-1}. \quad (41)$$

Замечая, что $a - b = x$, с учетом (35), (40) и (41), убеждаемся в справедливости (38) без вычисления интеграла (36).

Перенос частиц через неоднородные и сверхтонкие структуры. Описание эффектов переноса частиц через сверхтонкие структуры, состоящие из ограниченного числа атомных слоев (например, через окисные пленки на начальной стадии окисления) следует производить с помощью выражения для потока (20), которое мы перепишем в виде

$$j_r = Y_{r-1} - \Gamma_r Y_r. \quad (42)$$

Здесь введем обозначения

$$D_r = \lambda^2 v_r, \quad Y_r = C_r D_r, \quad \Gamma_r = \frac{\mu_r}{v_r} \equiv e^{-\Delta_r}. \quad (43)$$

В квазистационарном режиме переноса потоки частиц j_r во всех слоях ($r = 0, 1, 2, \dots, l-1$) одинаковы и поэтому

$$j = Y_0 - \Gamma_1 Y_1 = Y_1 - \Gamma_2 Y_2 = \dots = Y_{l-1} - \Gamma_l Y_l. \quad (44)$$

Таким образом, получается система рекуррентных уравнений для определения распределения концентраций C_r по участку $0 < r < l$. Исключив с помощью этих уравнений промежуточные значения Y_r ($r = 1, 2, \dots, l-1$), последовательно находим

$$j = Y_0 - \Gamma_{01} Y_1 = \frac{Y_0 - \Gamma_{12} Y_2}{1 + \Gamma_{01}} = \frac{Y_0 - \Gamma_{13} Y_3}{1 + \Gamma_{01} + \Gamma_{02}} = \dots = \frac{Y_0 - \Gamma_{1l} Y_l}{1 + \Gamma_{01} + \Gamma_{02} + \Gamma_{03} + \dots + \Gamma_{0l-1}}. \quad (45)$$

Здесь

$$\Gamma_{0r} = \Gamma_1 \Gamma_2 \dots \Gamma_r = e^{-\Delta(r)}, \quad (46)$$

$$\Delta(r) = \sum_{s=1}^r \Delta_s, \quad \Delta_s = -\lambda n \left(\frac{\mu_s}{v_s} \right). \quad (47)$$

Введем обозначения

$$L = \lambda (1 + \Gamma_{01} + \Gamma_{02} + \dots + \Gamma_{0,l-1}), \quad (48)$$

$$a = \frac{D(0)}{L}, \quad b = \frac{D(l)}{L} \lambda^{-\Delta(l)}. \quad (49)$$

Тогда выражение для потока (45) записывается в виде (39) с той лишь разницей, что знак суммы в (45) заменяется на интеграл в (39). Однако для сверхтонких слоев условия такой замены не выполняются. Чаще всего переходные структуры образуются на границах раздела фаз как результат физического или химического взаимодействия активных компонент этих фаз. Не исключено, что и граница «расплав–кристалл» является слоисто-неоднородной и поэтому потоки ПА через такую границу должны описываться уравнениями типа (45):

$$j_{es} = a_{is} C_l(0) - b_{sl} C_s(0), \quad (50)$$

где $C_l(0)$ и $C_s(0)$ – концентрации ПА на концах переходного слоя соответственно в d_l - и d_s -зонах. Только в идеальном случае резкой l/s -границы скорости прямого (a_{ls}) и обратного (b_{sl}) переходов приобретают упрощенный вид:

$$a_{ls} = \lambda v_{ls}, \quad b_{sl} = \lambda \mu_{sl}, \quad (51)$$

где λ – протяженность элементарного перескока ПА из l - в s -фазу.

Следует отметить, что образование переходных структур на границах раздела фаз может оказывать существенное влияние на вольт-амперные, термо- и фотоэлектрические характеристики таких устройств, как барьер Шоттки (металл–полупроводник), а также на катодные и анодные характеристики структур «металл–электролит». Однако эти вопросы выходят за рамки темы данной публикации, поэтому не будем их детализировать.

Зависимость коэффициентов распределения от режимов роста кристалла. Определение эффективного коэффициента распределения ПА в системе «расплав–кристалл» дается уравнением (10), в котором K_l , K_{ls} и K_s – коэффициенты самосогласованного распределения частиц соответственно в d_l - зоне расплава, на l/s -границе и d_s -зоне кристалла. Вычислим их из условия квазистационарности процесса переноса, согласно которому потоки ПА из объема расплава в «холодную» часть слитка на всех участках системы равны друг другу:

$$j_l = j_{ls} = j_s = j. \quad (52)$$

Общее выражение для потоков представлено нами в виде (39), в котором a и b могут быть вычислены по формулам (40), (41). Подобное выражение может быть записано и для потока j_{ls} (непосредственно через l/s -границу),

$$j_{ls} = a_{ls} C_l(0) - b_{sl} C_s(0). \quad (53)$$

Здесь отношение скоростей $a_{ls} = \lambda v_{ls}$ и $b_{sl} = \lambda \mu_{sl}$ переноса частиц через l/s -границу

$$\frac{\mu_{sl}}{v_{ls}} = \Gamma_{ls} = \Gamma_{ls}^0 e^{-\Delta_{ls}}, \quad (54)$$

содержит энтропийный фактор Γ_{ls}^0 , связанный главным образом с различием атомной структуры ПА в кристалле и расплаве. Для величины Δ_{ls} согласно перескоковой модели запишем следующее выражение:

$$\Delta_{ls} = \frac{\varepsilon_{ls}}{\theta_0} + \frac{v_c}{\lambda v_{ls}}, \quad (55)$$

где ε_{ls} – энтальпия кристаллизации ПА; v_{ls} – частоты перескоков. В развернутом виде уравнения (42) с учетом (39) и (53) переписутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} j &= a_l C_l(-d_l) - b_l C_l(0) = \\ &= a_{ls} C_l(0) - b_{sl} C_s(0) = \\ &= a_s C_s(0) - b_s C_s(d_s) = v_c C_s(d_s). \end{aligned} \quad (56)$$

Здесь последний член представляет поток конвективного переноса частиц в «холодной» части слитка, где другие формы переноса заморожены.

Решая попарно эти уравнения, находим

$$K_s = \frac{C_s(d_s)}{C_s(0)} = \frac{a_s}{b_s + v_c}, \quad (57)$$

$$K_{ls} = \frac{C_s(0)}{C_l(0)} = \frac{a_{ls}}{b_{sl} + v_c K_s}, \quad (58)$$

$$K_l = \frac{C_l(0)}{C_l(-d_l)} = \frac{a_l}{b_l + v_c K_s K_{ls}}. \quad (59)$$

С их помощью в соответствии с (10) получим эффективный коэффициент распределения $K = \frac{C_s(d_s)}{C_l(-d_l)}$, который также можно преобразовать к следующему виду:

$$K = \frac{a_l a_s a_{ls}}{b_l b_{sl} b_s + v_c (a_s a_{ls} + a_s b_l + b_l b_{sl})}. \quad (60)$$

Здесь a и b (индексы опускаем) зависят от кинетических параметров v и Δ соответственно в d_l - и d_s -зонах и l/s -переходе.

Рассмотрим частный случай, когда $K_s = 1$, т. е. когда в кристалле не происходит перераспределение примесей между горячим и холодным участками слитка. В этом случае согласно (50) с учетом (40) находим

$$K = \frac{a_l K_{ls}}{b_l + v_c K_{ls}} = \frac{K_{ls}}{\beta_l K_{ls} + (1 - \beta_l K_{ls}) e^{-\Delta_l}}. \quad (61)$$

Отметим, что K_{ls} зависит от режимов роста кристалла и определяется выражением (58), которое с учетом (40) приобретает вид

$$K_{ls} = [\beta_{ls} + (1 - \beta_{ls} K_s) e^{-\Delta_{ls}}]^{-1}, \quad (62)$$

где $\beta_{ls} = \frac{v_c}{v_{ls}}$, $\Delta_{ls} = \frac{\varepsilon_{ls}}{kT_0} + \frac{v_c \lambda}{D_{ls}} = \frac{v_{ls} \lambda}{D_{ls}}$, $D_{ls} = \lambda v_{ls}$, – энтальпия переноса ПА из расплава в кристалл; T_0 – температура кристаллизации.

Выражение (61) определяется процессами переноса в расплаве (параметрами a_l и b_l) и коэффициентом K_{ls} .

Часто реализуются режимы роста кристаллов, когда $K_l = 1$ (условие полного перемешивания расплава). В этом случае для малоподвижных ионов (с большим ионным радиусом) можно положить $v_s \approx v_c$ и $K_s = 1$. Тогда эффективный коэффициент распределения K будет определяться в основном фильтрационным коэффициентом l/s -перехода, т. е. $K \equiv K_{ls}$. В то же время для ПА с высокой подвижностью в d_s -зоне получаем

$$K = K_{ls} K_s = \frac{K_s}{\beta_{ls} + (1 - \beta_{ls} K_s) e^{-\Delta_{ls}}}, \quad (63)$$

где

$$K_s = [\beta_s + (1 - \beta_s) e^{-\Delta_s}]^{-1}. \quad (64)$$

Термоупругие силы по разному действуют на ПА: из области высоких температур и напряжений выталкиваются междоузельные атомы и ПА с большим ионным радиусом, а вакансии и ПА с малым радиусом в замещающем положении перемещаются в противоположном направлении. Поэтому согласно (63), в первом случае

$\beta_s = \frac{v_c}{v_c + v_d + v_0}$ и K_s будут > 1 , а во втором – β_s и $K_s < 1$.

Вместе с тем фильтрационный коэффициент K_{ls} , наоборот, будет > 1 для ПА с малым ионным радиусом, и < 1 для ПА с большим ионным радиусом, а также для междоузельных атомов. Так что эффективный коэффициент K будет определяться компенсирующим действием этих двух факторов. При этом выражение для потока ПА согласно (52) будет иметь вид

$$j = v_c K_s K_b C_l(0), \quad (65)$$

где $C_l(0)$ – концентрация ПА в расплаве.

Таким образом, проведенное исследование показывает следующее:

1. Для описания переноса ПА в системе «расплав – растущий кристалл» использованы уравнения типа $j = aC(0) - bC(l)$, в которых a и b определяются скоростями переноса v_c, v_d, v_0 на участке $0 \leq x \leq l$ и концентрациями ПА $C(0)$ и $C(l)$ на границах этого участка.

2. В зависимости от содержания параметров a и b эти уравнения справедливы не только для ПА, но и любых других нейтральных или заряженных квазичастиц. С их помощью можно описывать перенос частиц как через моноатомные слои вещества, так и через многоатомные системы (пленки).

3. Получено выражение для эффективного коэффициента распределения ПА в системе «расплав – растущий кристалл» $K = K_l \cdot K_s \cdot K_c$, что позволяет анализировать влияние режимов роста (скорости вытягивания слитка, градиента температур и силовых полей) на перенос и накопление ПА в растущем кристалле.

4. Очень важным является уравнение для потока ПА через l/s -границу (j_{ls}). Входящие в него параметры a_{ls} и b_{sl} учитывают режим роста кристалла (скорости v_c, v_d, v_0 на l/s -границе), и это отличает коэффициент K_{ls} от статического K_p , который обычно используется для описания распределения ПА на l/s -границе.

В заключение следует отметить, что изложенное может оказаться полезным не только для анализа переноса ПА в системе «расплав–кристалл», но и адаптировано к описанию процессов переноса в силовых полях (например, для расчета ВАХ системы «электролит–металл»), для расчета скорости роста второй фазы (например, окисной пленки).

Библиографический список

1. Handbook of Crystal Growth. Vol. 2: Bulk Crystal Growth / ed. by D. T. J. Hurle. Amsterdam : North-Holland Elsevier Science Publishers, 1994.
2. Kasap, S. O. Principles of Electronic Materials and Devices / S. O. Kasap. New York : McGraw-Hill, 2002.
2. Voronkov, V. V. The mechanism of swirl defects formation in silicon / V. V. Voronkov // J. Cryst. Growth. 1982. V. 59. P. 625–643.

Yu. Yu. Loginov, V. M. Lenchenko, A. V. Mozsherin

THE INFLUENCE OF MONOCRYSTALS GROWTH CONDITIONS ON CARRYING OVER AND ACCUMULATION OF IMPURITY ATOMS IN A GROWING CRYSTAL

Streams of impurity atoms on each of sites $0 \leq x \leq l$ of border between melt and a growing crystal are submitted as expression $j \approx aC(0) - bC(l)$ in which a and b are determined through convective v_c , drift v_d and thermal-diffusion v_u speeds of carry of impurity atoms accordingly in a melt (a_p, b_p), in a crystal (a_s, b_s), and also on border of the unit of phases (a_{sp}, b_{sl}). From a condition of quasistationary process of growth the distribution coefficient of impurity atoms concentration on each of sites are found and the general distribution coefficient of impurity atoms between melt volume and a cooled part of a growing ingot $K = \frac{C_s}{C_l}$ is determined. The received expression for K allows to analyze influence of modes of growth (speed of a crystal grows v_c , a gradient of temperatures (through v_d) and force fields (through v_u)) on carry and accumulation of impurity atoms in a growing crystal.

Keywords: impurity atoms, melt, crystal, grows conditions.

© Логинов Ю. Ю., Ленченко В. М., Мозжерин А. В., 2009

УДК 539.211

Г. А. Александрова, О. П. Вайтузин, Е. П. Березицкая, А. С. Паршин, С. Н. Варнаков, С. Г. Овчинников

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ЖЕЛЕЗА НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ*

Представлены результаты исследования топологии поверхности железо-кремниевых структур, полученных при разных температурных условиях, методом атомно-силовой микроскопии.

Ключевые слова: железо-кремниевые структуры, атомно-силовая микроскопия.

Гетероструктуры и мультислои, полученные нанесением двух и более различных материалов на полупроводниковую подложку, играют важную роль в электронных и оптоэлектронных устройствах, таких как лазеры на квантовых ямах, рентгеновские зеркала и др. В последние годы формируется новое направление в нанотехнологии, основанное на модифицировании полупроводниковых подложек с помощью адсорбатов, как правило, металлов, таким образом, чтобы рост пленки на ней приводил бы к образованию упорядоченных структур. Перспективными с точки зрения применения в устройствах спинтроники являются системы «полупроводник – магнитный материал», такие как кремниевая основа с нанесенным на нее верхним слоем железа, так как подобная структура сочетает в себе как полупроводниковые, так и магнитные свойства.

Для практического применения подобных структур в микроэлектронике важна информация о процессах формирования границы раздела между металлической пленкой и полупроводниковой подложкой. Этот процесс сопровождается атомным перемешиванием и образованием химических соединений на границе раздела при комнатной и даже при более низкой температуре. Процесс образования границ раздела в системе Fe–Si очень сложен и неоднозначен, что требует более глубокого изучения этой проблемы, в том числе с использованием новых методик и подходов. Значительную роль в отработке технологии получения подобных структур и изучения их свойств играют методы исследования топологии поверхности данных структур. Одним из наиболее используемых в настоящее время является метод сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Именно благодаря СЗМ стали возможны эксперименты с отдельными молекулами и атомами, что немаловажно не только для фундаментальных исследований, но и для прикладных разработок в нанотехнологии. Еще большие возможности открылись с изобретением атомно-силового микроскопа (АСМ), с помощью которого стало возможным изучение свойств не только проводящих, но и диэлектрических материалов.

Цель работы заключается в исследовании морфологии поверхности железо-кремниевых структур, полученных при различных технологических условиях, методом АСМ.

Принципы атомно-силового микроскопии. Первым в семействе зондовых микроскопов появился сканирующий туннельный микроскоп. В основе его работы лежит протекание туннельного тока между проводящим зондом и образцом во внешнем электрическом поле. Однако данный метод позволяет исследовать лишь проводящие образцы. С изобретением атомно-силового микроскопа у исследователей появилась возможность изучать рельеф и свойства не только проводящих, но и диэлектрических материалов.

Качественно работу АСМ можно пояснить на примере сил Ван-дер-Ваальса. Наиболее часто энергию Ван-дер-Ваальсова взаимодействия двух атомов, находящихся на расстоянии r друг от друга, аппроксимируют степенной функцией – потенциалом Леннарда–Джонса [1]:

$$\Phi_{LD}(r) = \Phi_0 \left\{ -2 \left(\frac{\delta}{r} \right)^6 + \left(\frac{\delta}{r} \right)^{12} \right\}. \quad (1)$$

Первое слагаемое в данном выражении описывает дальнедействующее притяжение, обусловленное в основном диполь-дипольным взаимодействием атомов. Второе слагаемое учитывает отталкивание атомов на малых расстояниях. Параметр δ – равновесное расстояние между атомами, Φ_0 – значение энергии в минимуме. Зависимость потенциала Леннарда–Джонса от расстояния иллюстрирует рис. 1.

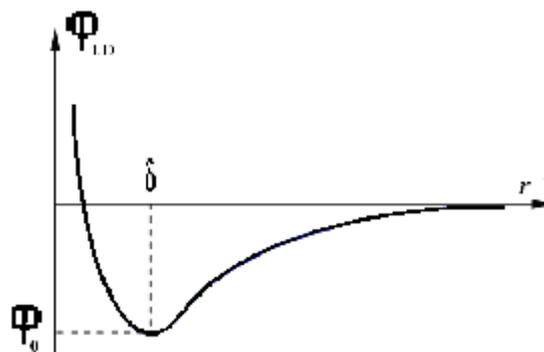


Рис. 1. Качественный вид потенциала Леннарда–Джонса

Получение АСМ изображений рельефа поверхности связано с регистрацией малых изгибов упругой консоли зондового датчика. В атомно-силового микроскопии для этой цели широко используются оптические методы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП РНП ВШ 2.1.1/3656, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (номер контракта П1464), интеграционного проекта СО РАН – ДВО РАН № 22, программы ОФН РАН «Спинтроника», при поддержке РФФИ (грант № 07-03-00320).

С этой целью на верхнюю поверхность зондового датчика нанесено отражающее покрытие. На консоли зондового датчика фокусируется излучение полупроводникового лазера. Когда зонд опускается и поднимается на неровностях поверхности, отраженный луч отклоняется, и это отклонение регистрируется четырехсекционным полупроводниковым фотодиодом. При этом оптической системой регистрируются деформация изгиба консоли под действием Z-компонент сил притяжения или отталкивания и деформации кручения консоли под действием латеральных компонент сил взаимодействия зонда с поверхностью. Разрешающая способность метода составляет примерно 0,1...1 нм по горизонтали и 0,01 нм по вертикали.

Таким образом, регистрируя в процессе сканирования изгибы кантилевера в разных точках поверхности, можно получить массив данных, описывающих рельеф поверхности в выбранной области сканирования.

Сканирующая зондовая нанолaborатория ИНТЕГРА Аура. Сканирующая зондовая нанолaborатория ИНТЕГРА Аура – уникальная исследовательская платформа, разработанная для проведения комплексных междисциплинарных экспериментов. Концепция нанолaborатории предусматривает возможность применения широкого спектра методов сканирующей зондовой микроскопии для изучения одного и того же образца. Исследовательский комплекс на платформе ИНТЕГРА (рис. 2) позволяет анализировать физические (в том числе электрические, магнитные, оптические и др.) и химические свойства объекта в диапазоне характерных размеров от сотни микронов до ангстрем.

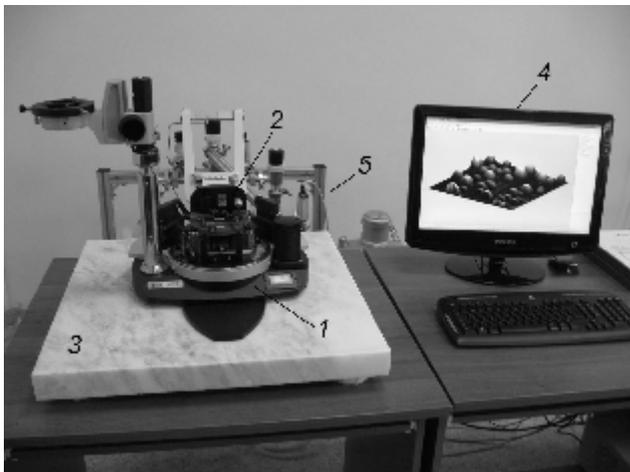


Рис. 2. СЗМ комплекс ИНТЕГРА Аура: 1 – базовый блок; 2 – измерительный блок, 3 – виброизолирующая плита; 4 – система управления; 5 – вакуумная система

Конфигурация исследовательского комплекса ИНТЕГРА имеет общую платформу, на которой расположен базовый блок 1, универсальная измерительная головка 2, благодаря которой специализацию исследовательского комплекса можно переориентировать с одного научного направления на другое.

Вся информация об исследуемом объекте поступает с помощью системы управления 4 на экран ПК, что значительно упрощает обработку и анализ результатов.

При необходимости, СЗМ комплекс ИНТЕГРА Аура позволяет проводить измерения в вакууме до 10^{-2} Торр.

Данная операция осуществляется при помощи вакуумной станции 5.

Также СЗМ комплекс ИНТЕГРА Аура обладает термомониторингом, системой видеонаблюдения, модулем для проведения магнитных измерений.

Результаты исследования железо-кремниевых структур, полученных при разных технологических условиях, методом атомно-силовой микроскопии. Исследуемые образцы получены в Институте физики имени Л. В. Киренского СО РАН (г. Красноярск) методом термического испарения на сверхвысоковакуумном многомодульном технологическом комплексе, оснащенном электронным спектрометром типа цилиндрического зеркала 09ИОС-03. Образцы представляли собой монокристаллическую подложку Si (100), имеющую форму диска радиусом 30 мм, с нанесенным на нее верхним слоем железа. Предварительно подложка кремния проходила химическую очистку по методу Ширази [2]. В результате данной химической обработки подложка очищается и на ее поверхности образуется оксид кремния SiO_2 . Для очистки подложки кремния от поверхностного слоя SiO_2 , ее нагревали до 750°C , а затем проводилась очистка поверхности в потоке Si. Далее пылилось железо. Была получена серия образцов при разных температурах подложки в процессе напыления железа: 20, 270 и 620°C . Время напыления железа 10 мин при скорости напыления 2 Е/мин. Также был исследован образец, для которого время напыления железа составило 30 с. Все исследования проводились на сканирующей зондовой нанолaborатории ИНТЕГРА Аура в полуконтактном режиме.

Результаты сканирования для разных образцов представлены на рис. 3–6. Данные изображения отражают рельеф поверхности на площади 3×3 мкм. Это так называемое 2D-представление данных сканирования, при котором высоты, соответствующие отдельным точкам сканирования, отображаются с помощью цветовой палитры таким образом, что впадинам соответствуют более темные тона, а по мере увеличения высоты рельефа цвет становится светлее. Цветовая шкала высот приведена справа от скана.

Видно, что на поверхности всех четырех исследуемых образцов присутствуют нанобъекты, причем для разных образцов указанные объекты отличаются по форме, линейным размерам и высоте. Так, для образца, полученного при температуре подложки в процессе напыления железа 20°C (рис. 3), наблюдаются наиболее крупные, отдельно расположенные структуры. При нагревании подложки до 270°C (рис. 4), линейные размеры структур уменьшаются, причем их количество значительно возрастает таким образом, что они заполняют собой практически всю поверхность образца. Судя по шкале высот, высота структур тоже уменьшается.

Довольно мелкие по линейным размерам особенности наблюдаются и на образце при температуре подложки 620°C (рис. 5), однако они более разделены по сравнению со структурами, наблюдаемыми на последнем образце. Скан, полученный на образце с температурой подложки 620°C , но временем напыления 30 с, приведен на рис. 6. Структуры здесь более расплывчатые по сравнению со структурами на образце с большим временем

напыления железа (рис. 5) и существенно меньше по высоте.

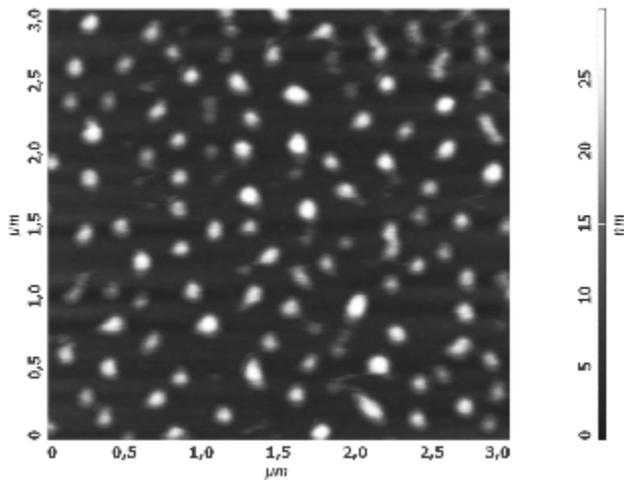


Рис. 3. АСМ изображение поверхности образца 3×3 мкм, полученного при температуре подложки 20 °С

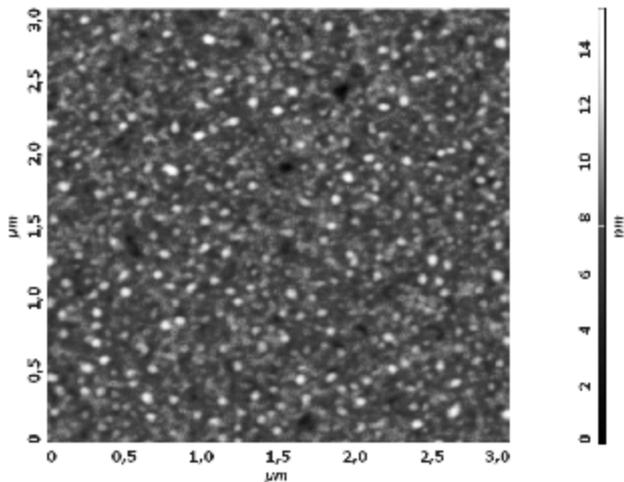


Рис. 4. АСМ изображение поверхности образца 3×3 мкм, полученного при температуре подложки 270 °С

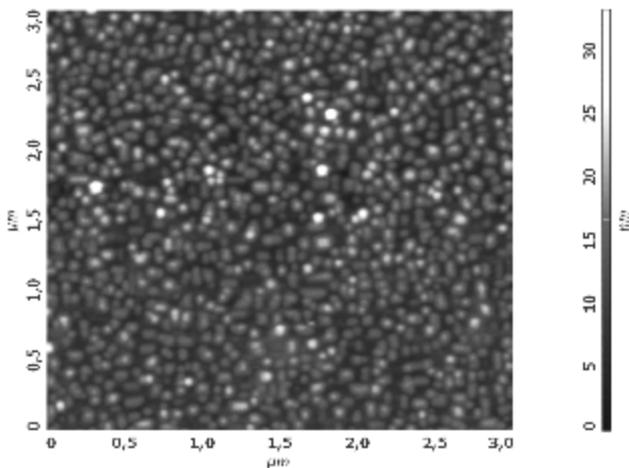


Рис. 5. АСМ изображение поверхности образца 3×3 мкм, полученного при температуре подложки 620 °С, время напыления 10 мин

3D-АСМ изображение поверхности образцов, полученных при температурах подложки 20 и 270 °С, представлены на рис. 7, 8.

Для дальнейшего анализа была проведена статистическая обработка полученных изображений. Обработка осуществлялась с помощью программного модуля обработки изображений NOVA.

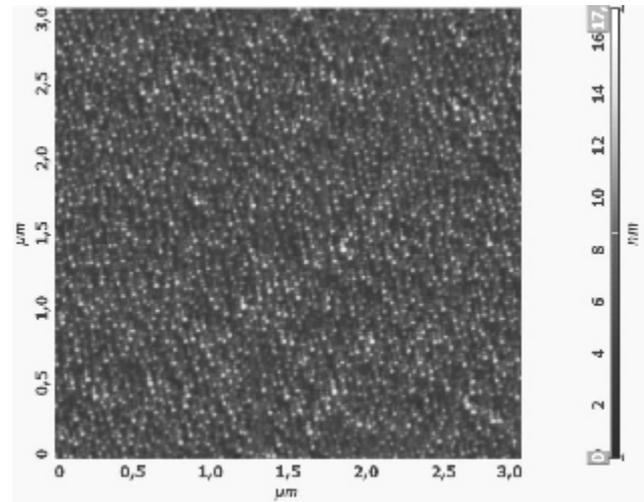


Рис. 6. АСМ изображение поверхности образца 3×3 мкм, полученного при температуре подложки 620 °С, время напыления 30 с

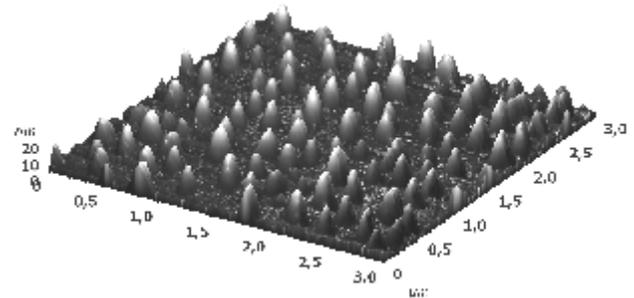


Рис. 7. 3D-изображение поверхности образца 3 x 3 мкм, полученного при температуре подложки 20 °С

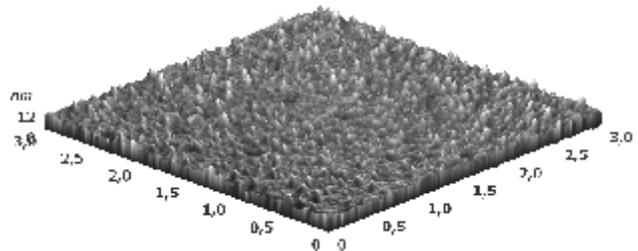


Рис. 8. 3D-изображение поверхности образца 3 x 3 мкм, полученного при температуре подложки 270 °С

Для каждого из представленных образцов по полученным сканам была определена шероховатость поверхности (R) по формуле

$$R = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} |z(x_k, y_l) - \text{Average}|, \quad (2)$$

где

$$\text{Average} = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} z(x_k, y_l), \quad (3)$$

M, N – число точек; x, y – координаты в плоскости изображения.

Результаты обработки представлены в таблице. Как и следовало ожидать, наибольшую шероховатость имеют

образцы, полученные при комнатной температуре подложки и при температуре подложки 620 °С со временем напыления 10 мин.

Кроме шероховатости для каждого образца были определены следующие параметры: средняя высота наблюдаемых структур (H), их средний диаметр (D), эффективная толщина слоя железа (S) и степень покрытия структурами (θ).

Степень покрытия рассчитывалась как отношение площади, занимаемой всеми структурами, к площади всего изображения, а эффективная толщина слоя определялась как отношение объема всех структур на изображении к площади всего изображения:

$$\theta = \frac{S_p \cdot n}{S_s}, \quad (4)$$

$$S = \frac{V_p \cdot n}{S_s}, \quad (5)$$

где S_p – средняя площадь одного зерна; n – количество наноструктур на изображении; S_s – площадь изображения; V_p – средний объем наноструктур.

При определении этих параметров в программе параллельно базовой плоскости и на заданном расстоянии от нее проводилась секущая плоскость. Каждый объект на поверхности, пересекаемый этой плоскостью, сечение которой является односвязанной областью, интерпретировался как отдельное зерно. Положение секущей плоскости устанавливалось вблизи подложки. Предварительно на сканах были устранены все выбросы и дефекты сканирования.

Как видно, данные таблицы согласуются с качественным анализом АСМ изображений исследуемых структур. Видно, что меньшая шероховатость у образцов, полученных при температуре подложки 270 и 620 °С со временем напыления 30 с. Шероховатость двух других образцов превышает это значение почти в 3 раза.

Средний диаметр наноструктур образца, полученного при температуре подложки 20 °С, является наибольшим. Близкими к этому значению являются значения, полученные для образца при температуре подложки 620 °С и времени напыления 10 мин. Для этих же образцов характерны наибольшие высоты наноструктур (12,6 и 12,2 нм соответственно). Для образцов, полученных при температуре подложки 270 и 620 °С при времени напыления 0,5 мин, наблюдаются наиболее мелкие особенности.

Можно заметить, что с увеличением температуры подложки при напылении железа, происходит увеличение степени заполнения нанобъектами образца.

Что касается эффективной толщины, то здесь явной зависимости от температуры не наблюдается. Так, наибольшая эффективная толщина (2,7 нм) соответствует образцу при температуре подложки 620 °С и времени напыления 10 мин. А самая малая толщина (0,5 нм) получена для образца при температуре подложки 270 °С. Это можно объяснить тем, что на данном образце происходит прежде послыйный рост двумерного слоя, и только потом трехмерных структур, которые наблюдаются на поверхности, и которые мы учитываем при расчете эффективной толщины. Для образца со временем напыления 30 с эффективная толщина составила 1,2 нм, что всего в 2 раза меньше значения эффективной толщины образца, полученного при той же температуре напыления, но со временем напыления 10 мин. Полученная большая эффективная толщина в этом случае связана со сложными процессами, происходящими на поверхности образца при повышенных температурах, и ее объяснение требует дополнительных исследований.

Таким образом, методом атомно-силовой микроскопии была исследована поверхность образцов железокремниевых структур, полученных при различных температурах подложки во время напыления на нее железа. Показано, что на поверхности присутствуют структуры разных размеров, имеющие форму зерен. Определены их геометрические параметры, найдена шероховатость поверхности образцов, а также вычислена эффективная толщина нанесенного материала и степень заполнения нанобъектами исследуемых образцов.

Установлено, что с увеличением температуры подложки при напылении железа, его рост на поверхности происходит различным образом. Можно предположить, что это связано с увеличением взаимодиффузии железа и кремния с ростом температуры.

Библиографический список

1. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. М.: Техносфера, 2005.
2. Ishizaka, A. / A. Ishizaka, Y. Shiraki // A. J. Electrochem. Soc.: Electrochemical science and Technology. 1986. P. 666–671.

Численные значения параметров исследуемых образцов

№ п/п	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	t , мин	R , нм	H , нм	D , нм	S , нм	θ
1	20	10	3,05	12,6	129,0	1,9	0,23
2	270	10	0,86	3,7	59,0	0,5	0,37
3	620	10	3,11	12,2	94,0	2,7	0,46
4	620	0,5	1,75	3,8	35,0	1,2	0,47

G. A. Alexandrova, O. P. Vaituzin, E. P. Berezitskaya, A. S. Parshin, S. N. Varnakov, S. G. Ovchinnikov

A STUDY ON THE IRON STRUCTURE FORMATION ON SILICON SURFACES FOR DIFFERENT TECHNOLOGICAL CONDITIONS BY MEANS OF ATOMIC FORCE MICROSCOPY

This research is about the iron-silicon surface topology structures acquired by means of Atomic Force Microscopy. The temperature conditions used for obtaining these samples vary.

Keywords: iron-silicon structures, atomic force microscopy.

© Александрова Г. А., Вайзутин О. П., Березицкая Е. П.,
Паршин А. С., Варнаков С. Н., Овчинников С. Г., 2009

УДК 538.971

С. А. Куценков, А. С. Паршин, Г. А. Александрова, С. А. Ходенков

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ ТИПА «ПЛЕНКА–ИНТЕРФЕЙС–ПОДЛОЖКА»*

Изложены возможности разработанной компьютерной программы, с помощью которой проведено теоретическое исследование потерь энергии электронов в трехслойных структурах, в которых промежуточный слой состоит частично из материалов верхнего и нижнего слоев. Изучено влияние распределения элементов пленки и подложки в промежуточном слое, а также механизма роста пленки (послойного или островкового) на потери энергии электронов в структуре «Fe/Fe–Si/Si».

Ключевые слова: сечение неупругого рассеяния электронов, слоистые структуры.

Количественная информация о сечении неупругого рассеяния электронов в твердом теле играет важную роль в поверхностно-чувствительных методах исследования поверхности, таких как электронная оже-спектроскопия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, спектроскопия характеристических потерь энергии электронов и др. Этот параметр определяет среднюю длину неупругого пробега электронов, фон электронных спектров, вклад поверхностных возбуждений в электронный спектр. Дважды дифференциальное сечение неупругого рассеяния электронов (s), движущихся в бесконечном однородном твердом теле, связано с его комплексной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(k, \omega)$ соотношением [1]

$$\frac{d^2\sigma}{d(\hbar\omega)dk} = \frac{1}{\pi a_0 k E} \operatorname{Im} \left(-\frac{1}{\varepsilon(k, \omega)} \right), \quad (1)$$

где E – энергия электрона; $\hbar\omega$ и k – изменение (всегда потеря) энергии и волновое число электрона в результате неупругого рассеяния соответственно; a_0 – радиус Бора.

Интегрирование выражения (1) по всем возможным значениям изменения волнового числа в процессе неупругого взаимодействия электрона со средой дает выра-

жение для дифференциального сечения по потерям энергии $\hbar\omega$

$$\frac{d\sigma}{d\hbar\omega} \equiv K(E, \hbar\omega) = \frac{1}{\pi a_0 E} \int_{k^-}^{k^+} \frac{dk}{k} \operatorname{Im} \left(-\frac{1}{\varepsilon(k, \omega)} \right), \quad (2)$$

где $k^\pm = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (\sqrt{E \pm \sqrt{E - \hbar\omega}})}$. Это интегрирование экви-

валентно интегрированию по всем возможным значениям углов неупругого рассеяния электронов. Единицей измерения $K(E, \hbar\omega)$ является произведение обратной длины на обратную энергию. Величина $K(E, \hbar\omega)$ рассматривается как вероятность того, что на единицу длины пути на единицу энергии электрон потеряет энергию $\hbar\omega$. Функция $K(E, \hbar\omega)$ имеет структуру, связанную с возбуждением плазмонов на частоте плазменных колебаний ω_p .

В связи с тем, что методики, позволяющие рассчитать сечение неупругого рассеяния из экспериментальных спектров, представляют его в интегральном (по длине пути) виде, зачастую при теоретическом моделировании рассчитывают именно эту величину. Для $K(E, \hbar\omega)$, представленного формулой (2), интегральной величиной бу-

*Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП РНП ВШ 2.1.1/3656, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (номер контракта П1464), интеграционного проекта СО РАН – ДВО РАН № 22, программы ОФН РАН «Спинтроника», при поддержке РФФИ (грант № 07-03-00320).

дет произведение $K(E, \hbar\omega)$ на длину неупругого свободного пробега электронов в данном материале [2]. В более сложных моделях для расчета интегрального сечения неупругого рассеяния может потребоваться интегрирование дифференциальной величины.

Длину неупругого свободного пробега электрона в веществе, а точнее, ее обратную величину, можно определить путем интегрирования уравнения (2) по всем возможным потерям энергии:

$$\frac{1}{\lambda(E)} = \int_0^{\infty} K(E, \hbar\omega) d(\hbar\omega). \quad (3)$$

Цель данной работы заключалась в расчете сечения неупругого рассеяния в трехслойных структурах на основе существующей модели сечения неупругого рассеяния в однородном материале.

Методика расчетов. В основе алгоритма программы лежит модель расчета сечения неупругого рассеяния, предложенная в работе [3]. Модель позволяет рассчитать сечение неупругого рассеяния для электрона, нормально падающего из бесконечности на поверхность материала, затем упруго отраженного на некоторой глубине a в противоположную сторону и при этом испытавшего за время своего движения внутри твердого тела одно неупругое столкновение. Данная модель основана на теории диэлектрического отклика, которая предполагает, что все свойства твердого тела, отвечающие за его взаимодействие с внешними электронами, описываются диэлектрической функцией данного твердого тела. Авторами модели было предложено выражение для нахождения эффективного сечения неупругого рассеяния электронов K_{eff} , которое имеет смысл дифференциального сечения неупругого рассеяния электрона:

$$K_{\text{eff}}(E_0, \hbar\omega, x_0) = \frac{-2 \exp(2)}{\hbar^2 \pi v^2} \text{Re} \times \left\{ i \int dk_{\perp} \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) \frac{k_{\perp}}{k_{\perp}^2 + y^2} \right\} + \frac{-2 \exp(2)}{\hbar^2 \pi v \omega} \frac{1}{2a} \times \left\{ \text{Re} \left[i \int dk_{\perp} \frac{k_{\perp}}{(k_{\perp}^2 + y^2)^2} \times \left[(2y k_{\perp} \exp(-k_{\perp} a)) (4 \cos(ya) - \exp(-k_{\perp} a)) \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon(1 + \varepsilon)} + (k_{\perp}^2 - y^2) \sin(2ya) \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) - 2y k_{\perp} \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) \left(1 + 2 \cos^2(ya) \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon} \right) \right] \right\}, \quad (4)$$

где E и v – энергия и скорость электрона соответственно; ε – диэлектрическая проницаемость материала, в котором происходит рассеяние; $x = 2a$ – путь, пройденный электроном в твердом теле. $K_{\text{eff}}(E, \hbar\omega, a, \varepsilon)$ является функцией тех же параметров, что и сечение, представленное уравнением (2), за исключением глубины упругого рассеяния электронов a .

Методика нахождения K_{eff} позволяет рассчитать дифференциальное сечение неупругого рассеяния электрона, достигшего любой глубины в твердом теле и испытавшего произвольное количество неупругих взаимодействий. Для вычисления сечения однократного неупругого рассеяния необходимо учесть только те электроны, которые испытали одно неупругое взаимодействие. Та-

кие электроны могут с разной вероятностью достигать разных глубин внутри твердого тела; вероятность того, что электрон испытал только одно неупругое взаимодействие, пропорциональна $(x/\lambda) \exp(-x/\lambda)$ [4]. Интегральное сечение однократного неупругого рассеяния электронов может быть найдено как средневзвешенная величина от K_{eff} с весовой функцией $(x/\lambda) \exp(-x/\lambda)$. Проинтегрировав знаменатель аналитически, в окончательном виде интегральное сечение однократного неупругого рассеяния можно представить следующей формулой:

$$\lambda K_{\text{sc}}(E, \hbar\omega) = \frac{1}{\lambda} \int_0^{\infty} x \exp(-x/\lambda) K_{\text{eff}}(E, \hbar\omega, x, \varepsilon) dx. \quad (5)$$

Комплексная диэлектрическая функция среды, согласно модели Друде–Линдхарда, может быть представлена в виде суперпозиции Лоренцевых осцилляторов, каждый из которых имеет свою собственную частоту ω_i , силу A_i и коэффициент затухания γ_i [4]:

$$\varepsilon(k, \omega) = 1 + \sum_i \frac{A_i}{(\omega_i + k^2/2)^2 - \omega^2 + i\omega\gamma_i}. \quad (6)$$

Число осцилляторов, частота, сила и коэффициент затухания каждого из них обычно определяют из оптических данных или экспериментов по неупругому рассеянию электронов. В ряде работ [5–7] параметры Друде–Линдхарда используются для вычислений действительной и мнимой частей диэлектрической функции, в других [8–10] по этим параметрам вычисляют непосредственно мнимую часть отрицательной обратной величины диэлектрической функции (функцию потерь).

Ранее нами была разработана компьютерная программа для численного расчета сечения неупругого рассеяния электронов для полубесконечного однородного образца в соответствии с приведенной выше моделью [11]. В данной работе было произведено расширение модели на случай, когда среда, с которой взаимодействует электрон, состоит из трех слоев: пленки, которая может формироваться как в виде островков, так и сплошного слоя, интерфейса и подложки (рис. 1).

Предполагается, что вклад в сечение неупругого рассеяния электронов, потерявших энергию в результате неупругого взаимодействия на определенном расстоянии x от поверхности слоистой структуры, определяется диэлектрическими свойствами среды в данной точке с соответствующей весовой функцией. С учетом этого предположения и выражения (5) интегральное сечение неупругого рассеяния в трехслойной структуре с толщиной пленки d и толщиной промежуточного слоя dm может быть представлено суммой вкладов от взаимодействия электронов со слоями:

$$\lambda K_{\text{sc}_{3\text{lay}}}(E, w, dm, d) = \frac{1}{\lambda_f} \int_0^d x \exp(-x/\lambda_f) K_{\text{eff}}(E, w, x, \varepsilon_f) dx + 2(d+dm) \int_0^d \left[\frac{x \exp(-x/\lambda_f) M(x) K_{\text{eff}}(E, w, x, \varepsilon_f) + \frac{x \exp(-x/\lambda_s) (1 - M(x)) K_{\text{eff}}(E, w, x, \varepsilon_s)}{\lambda_s}}{\lambda_f} \right] dx + \frac{1}{\lambda_s} \int_0^{\infty} x \exp(-x/\lambda_s) K_{\text{eff}}(E, w, x, \varepsilon_s) dx. \quad (7)$$

Индексы f и S относятся соответственно к пленке и подложке; $M(x)$ – функция, описывающая относительное содержание материала пленки на глубине x в промежуточном слое. При $dm = 0$ уравнение (7) переходит в формулу для расчета сечения неупругого рассеяния в двухслойной структуре. При $d = dm = 0$ уравнение (7) отражает исходную простейшую модель, предложенную Юбери и Тоугаардом [3].

Формально такая структура является более сложной разновидностью двухслойной структуры, в которой в результате диффузии между материалами пленки и подложки образовался промежуточный слой, в котором каким-то образом распределены материалы пленки и подложки. Второе слагаемое в уравнении (7) описывает вклад в сечение от взаимодействия электронов с промежуточным слоем. В плоскости, перпендикулярной вектору скорости движения электрона, структура предполагается однородной. В программе реализованы 3 варианта распределения компонент в промежуточном слое.

Первый вариант – самый простой, в нем функция $M(x)$ не зависит от глубины и равна объемной доле материала верхнего слоя в промежуточном – $M(x) = V_{\text{верх}}/V$. Во втором случае предполагается, что концентрация материала пленки в промежуточном слое линейно уменьшается с глубиной и $M(x) = 1 - (x - 2d)/(2dm)$. Таким образом, содержание материала верхнего слоя равно единице на границе между промежуточным и верхним слоем и нулю на границе между подложкой и интерфейсом. В третьем варианте реализовано экспоненциальное изменение содержания материалов с глубиной – $M(x) = \exp(-4 \cdot (x - 2d)/(2dm))$.

Как известно, рост пленки на подложке может происходить с образованием островков, высота которых бывает значительно больше толщины атомного слоя. Относительная площадь поверхности, занимаемая островками, характеризуется степенью покрытия и. Если ширина пучка первичных электронов намного больше размеров островка, то можно допустить что $\theta \cdot 100\%$ первичных электронов падают на островки и взаимодействуют с трехслойной структурой «пленка–интерфейс–подложка», а ос-

тальные $[1 - \theta] \cdot 100\%$ падают в области, где нет островков, и взаимодействуют с двухслойной структурой «интерфейс–подложка». Предполагая достаточно большие размеры отдельного островка (но по-прежнему много меньшие размеров электронного пучка), можно допустить, что число электронов, падающих близко к стенкам островков, и, значит, испытывающее дополнительные потери от взаимодействия с поверхностным зарядом, образовавшимся на стенках островков, достаточно мало. В этом случае интегральное сечение неупругого взаимодействия электронов с островковой структурой можно представить в следующем виде:

$$\lambda Ksc_{isl}(E, w, dm, d) = \theta \cdot \lambda Ksc_{3lay}(E, w, dm, d) + (1 - \theta) \cdot \lambda Ksc_{2lay}(E, w, dm, d = 0). \quad (8)$$

При $\theta = 1$, т. е. когда островки превращаются в сплошной слой, данное выражение переходит в выражение (7).

Структура программы. Структурная схема программы MLCS (Multi-Layered Cross-Sections), позволяющей проводить моделирование сечений неупругого рассеяния в слоистых средах, приведена на рис. 2. Входными параметрами являются энергия первичных электронов (E), толщина пленки (d), толщина промежуточного слоя (dm), степень покрытия островками (θ) (в случае модели с островками), длины свободного неупругого пробега электронов (λ) в пленке и подложке, параметры диэлектрических функций (A_p, ω_p, γ_i) материалов пленки и подложки, максимальное значение $\hbar\omega$ рассчитываемых значений потерь энергии. Все параметры, относящиеся к пленке, обозначены на рисунке индексом f , а к подложке – индексом s .

Параметры диэлектрической функции материала, используемые в программе, хранятся в базе данных sqlite. Они могут быть добавлены или отредактированы с помощью встроенного в программу редактора параметров.

На первом этапе рассчитываются с использованием заданных параметров A_p, ω_p, γ_i диэлектрические функции материалов пленки и подложки. Затем с использованием рассчитанных диэлектрических функций, энергии первич-

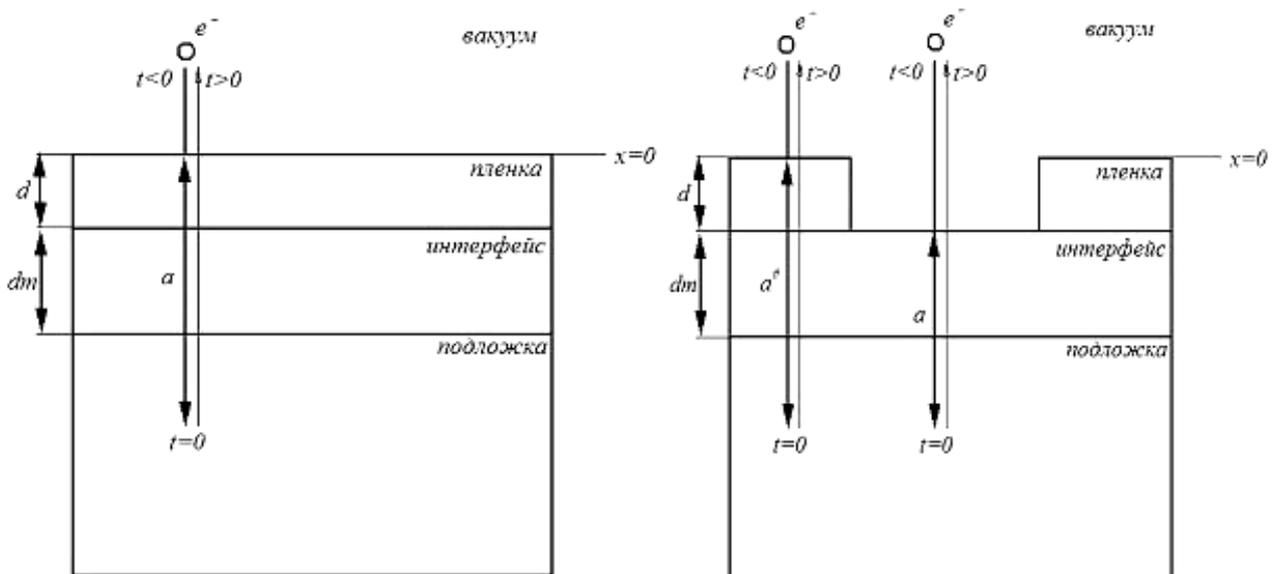


Рис. 1. Схема взаимодействия электрона с образцом для случая послойного роста пленки (слева) и роста пленки с образованием островков (справа)

ных электронов и длин неупругого свободного пробега электронов в заданном диапазоне вычисляется эффективное сечение неупругого рассеяния электронов в верхнем и нижнем слое как функция потери энергии электронов. Из эффективных дифференциальных сечений неупругого рассеяния в пленке и подложке, с учетом толщины пленки и толщины промежуточного слоя, рассчитываются вклады в интегральное сечение неупругого рассеяния от пленки, подложки и промежуточного слоя (характер распределения материалов в промежуточном слое выбирается пользователем). Результаты расчетов могут быть выведены на экран и сохранены в текстовом файле для дальнейшей обработки.

Результаты расчетов и обсуждение. С использованием программы MLCS было проведено исследование потерь энергии электронов в слоистых трехслойных структурах «Fe–интерфейс–Si» (пленка железа, промежуточный слой Fe/Si, кремниевая подложка) для энергии первичных электронов 200 эВ. Длина неупругого свободного пробега электронов в железе при данной энергии составляет 5,79 Е, в кремнии – 7,62 Е. Даная структура была выбрана для исследования в связи с использованием этих материалов в электронике и перспективами использования в спинтронике. Зависимости сечения неупругого рассеяния от энергии потерь электронов для железа и кремния существенно отличаются формой линии и интенсивностью. Так, максимум зависимости сечения неупругого рассеяния электронов в Si примерно в 2,5 раза превышает значение максимума сечения в Fe. В то же время, при малых потерях интегральное сечение неупругого рассеяния интенсивней для железа за счет более выраженного поверхностного плазмона. Это позволяет существенно облегчить определение того или иного эле-

мента в сечении неупругого рассеяния трехслойной структуры, составленной из железа и кремния.

Для исследования влияния распределения элементов в промежуточном слое на потери энергии электронов, расчетные параметры были выбраны таким образом, чтобы структура была эквивалентна сплошной пленке железа толщиной 15 Е на поверхности кремниевой подложки без промежуточного слоя. Интегральные сечения неупругого рассеяния электронов для различных распределений элементов в промежуточном слое представлены на рис. 3. Верхняя и нижняя диаграммы – результаты моделирования для кремния и железа соответственно. Три промежуточных диаграммы (снизу вверх) соответствуют структуре с пленкой толщиной 15 Е без промежуточного слоя; структуре без слоя пленки, но с промежуточным слоем толщиной 30 Е, в котором железо и кремний присутствуют в постоянных, независимых от расстояния от поверхности, равных долях; структуре без пленки, но с промежуточным слоем толщиной порядка 61 Е, в котором элементы распределены экспоненциальным образом.

Несмотря на одно и то же содержание железа, рассматриваемые структуры существенно различаются. Для структуры без промежуточного слоя характерно наибольшее влияние пленки на потери энергии. Это связано с тем, что при заданной энергии первичных электронов длина неупругого свободного пробега электронов в железе меньше толщины пленки Fe (5,79 и 15 Е) и, следовательно, большая часть электронов рассеивается именно в ней. Наименьший вклад железа в сечение неупругого рассеяния наблюдается для структур с постоянным распределением элементов. В случае экспоненциального распределения компонент в промежуточном слое влияние пленки больше чем при постоянном распределении,

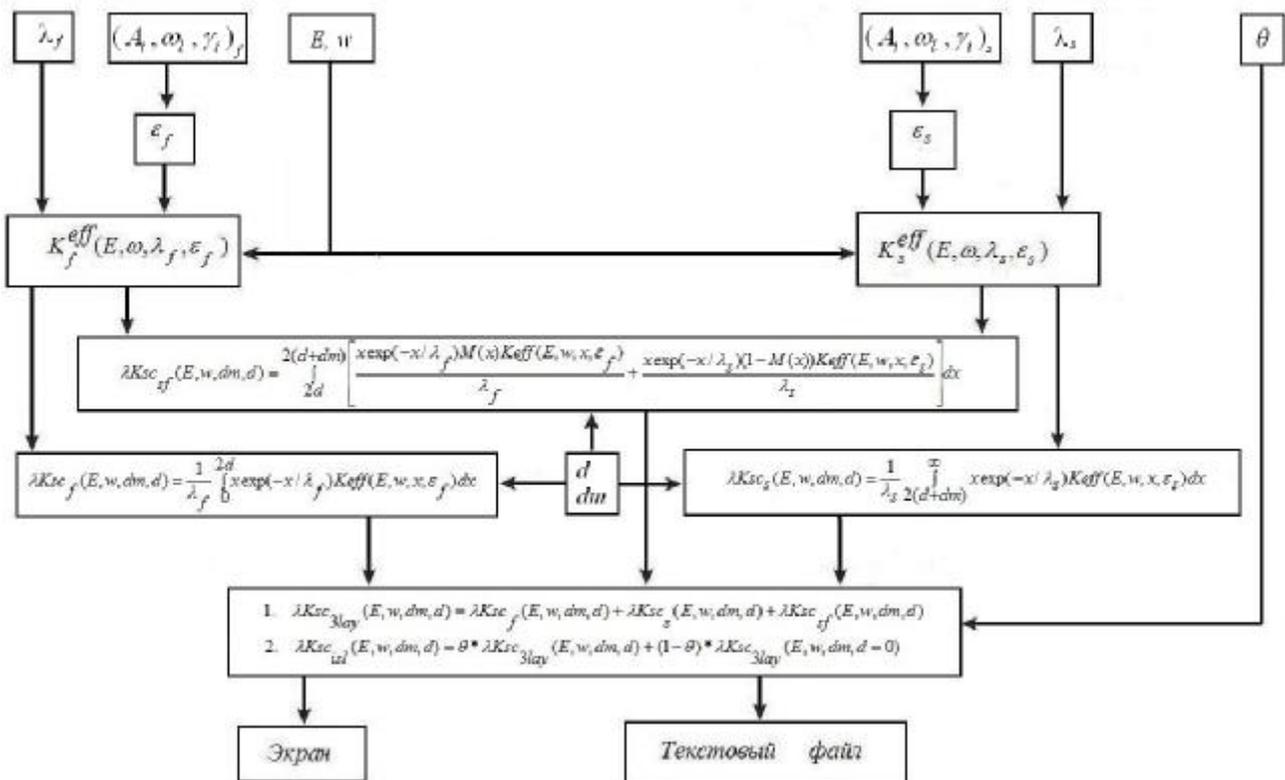


Рис. 2. Структурная схема компьютерной программы MLCS

но меньше, чем в случае структуры с резкой границей между слоями.

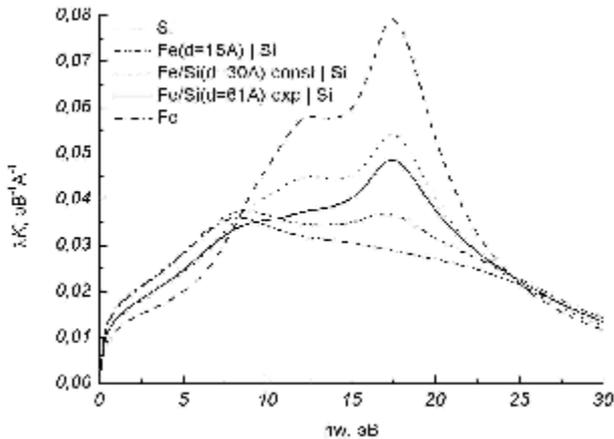


Рис. 3. Зависимости λK от потери энергии электронов в трехслойной структуре «Fe–интерфейс–Si» при одинаковом содержании железа и различных распределениях элементов в промежуточном слое при первичной энергии электронов 200 эВ

Для изучения влияния островков был произведен расчет сечения неупругого рассеяния в трех структурах: структура без островков с толщиной пленки 15 Э и толщиной промежуточного слоя 5 Э; структура с островками высотой 30 Э, степенью покрытия 0,5 и промежуточным слоем толщиной 5 Э; структура с островками высотой 60 Э, степенью покрытия 0,25 и промежуточным слоем толщиной 5 Э. В интерфейсе элементы имели постоянное распределение с равными долями. Энергия первичных электронов составляла 500 эВ. Параметры структуры выбраны таким образом, чтобы содержание железа было постоянным и эквивалентным сплошному слою железа толщиной 17,5 Э на поверхности кремния. Результаты моделирования в этих структурах представлены на рис. 4.

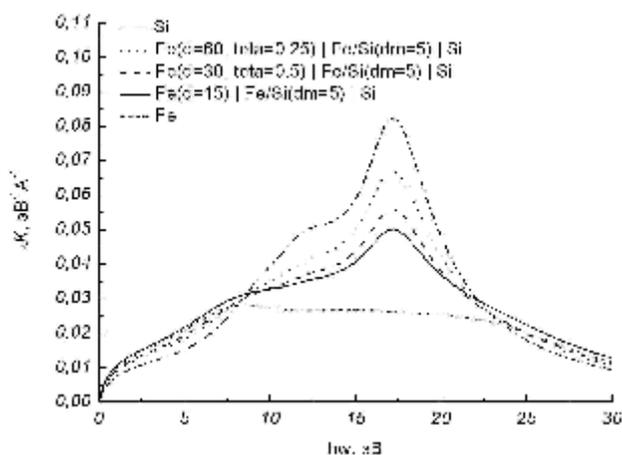


Рис. 4. Зависимости λK от потери энергии электронов в трехслойных структурах, в которых верхний слой представлен в виде островков, при постоянном содержании железа и первичной энергии электронов 500 эВ

Верхний и нижний графики соответствуют сечению неупругого рассеяния в кремнии и железе. Видно, что

для структуры с меньшей степенью заполнения поверхности островками наблюдается меньший вклад железа в сечение рассеяния, в то время как для структуры со сплошной пленкой этот вклад максимален. Это объясняется тем, что если островки редки, то большинство первичных электронов падают на области поверхности, где структура содержит меньше железа, в связи с этим его влияние на потери уменьшается.

В работе было произведено расширение модели расчета сечения неупругого рассеяния в однородном материале на случай трехслойной структуры, состоящей из пленки, которая может формироваться как в виде островков, так и сплошного слоя, интерфейса и подложки.

Разработана компьютерная программа, реализующая расчет для данной структуры, описана ее структура и алгоритм расчета.

Представлены результаты моделирования интегрального сечения неупругого рассеяния электронов в слоистой структуре «Fe–интерфейс–Si».

Результаты расчетов показали влияние распределения элементов в интерфейсе и степени заполнения островками поверхности подложки трехслойной структуры «Fe–интерфейс–Si» на интегральную зависимость произведения средней длины свободного неупругого пробега на сечение неупругого рассеяния электронов в данных структурах. Так как интегральные сечения неупругого рассеяния электронов могут быть непосредственно экспериментально определены из спектров потерь энергии отраженных электронов [12], моделирование этих зависимостей с помощью разработанной программы и сравнение с экспериментальными результатами может быть использовано для определения механизма роста структур, распределения элементов в пленке, оценки толщины пленки, толщины промежуточного слоя.

Библиографический список

1. Флегонтова, У. Ю. Эффективная реализация расчета потери энергии и угла рассеяния при неупругом взаимодействии электрона с веществом / У. Ю. Флегонтова [и др.] // ЖТФ. 2000. Т. 70. Вып. 12. С. 6–12.
2. Tougaard, S. Influence of elastic and inelastic scattering on energy spectra of electrons emitted from solids / S. Tougaard, P. Sigmund // Phys. Rev. B. 1982. Vol. 25, № 7. P. 4452–4466.
3. Yubero, F. Model for quantitative analysis of reflection-electron-energy-loss spectra / F. Yubero, S. Tougaard // Phys. Rev. B. 1992. V. 46, № 4. P. 2486–2497.
4. Raether, H. Excitations of Plasmons and Interband Transitions by Electrons / H. Raether // Springer Tracts in Modern Physics. Vol. 88. Springer. New York, 1980.
5. Tung, C. J. Differential cross sections for plasmon excitations and reflected electron-energy-loss spectra / C. J. Tung [et al.] // Phys. Rev. B. 1994. Vol. 49, № 23. P. 16684–16693.
6. Werner, W. S. M. Analysis of reflection electron energy loss spectra (REELS) for determination of dielectric function of solids: Fe, Co, Ni / W. S. M. Werner // Surf. Sci. 2007. Vol. 601. P. 2125–2138.

7. Chen, Y. F. Surface effects on angular distributions in X-ray-photoelectron spectroscopy / Y. F. Chen // Surf. Sci. 2002. Vol. 519. P. 115–124.

8. Ritchie, R. H. Electron excitation and optical potential in electron microscopy / R. H. Ritchie, A. Howie // Philos. Mag. 1977. Vol. 36, № 2. P. 463–481.

9. Tougaard, S. Inelastic-electron-scattering cross sections for Si, Cu, Ag, Au, Ti, Fe, and Pd / S. Tougaard, J. Kraaer // Phys. Rev. B. 1991. Vol. 43, № 2. P. 1651–1661.

10. Yubero, F. Dielectric loss function of Si and SiO₂ from quantitative analysis of REELS spectra / F. Yubero [et al.] // Surf. Interface Anal. 1993. Vol. 20. P. 719–726.

11. Кущенко, С. А. Компьютерное моделирование спектров потерь отраженных неупруго рассеянных электронов / С. А. Кущенко, Г. А. Александрова, А. С. Паршин // Сб. тр. X регион. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых по физике полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалов (26–29 апр. 2006, г. Владивосток); ИАПУ ДВО РАН. Владивосток, 2006. С. 65–68.

12. Tougaard, S. Differential inelastic electron scattering cross sections from experimental reflection electron-energy-loss spectra: Application to background removal in electron spectroscopy / S. Tougaard, I. Chorkendorff // Phys. Rev. B. 1987. Vol. 35, № 13. P. 6570–6577.

S. A. Kuschenkov, A. S. Parshin, G. A. Alexandrova, S. A. Hodenkov

COMPUTER MODELING OF INELASTIC-SCATTERING CROSS SECTIONS OF ELECTRONS IN THREE LAYERED STRUCTURES TYPES: «FILM–INTERFACE–SUBTRACT»

In this work we have briefly presented a possible computer program for modeling inelastic-scattering cross sections of electrons in three layered structures types: film/ interface/ subtract. The influence of film and subtract elements distribution on the interface and type of film growth on energy losses for the structure «Fe/Fe–Si/Si» is studied.

Keywords: inelastic-scattering cross section of electrons, layered structures.

© Кущенко С. А., Паршин А. С., Александрова Г. А., Ходенков С. А., 2009

УДК 621.924

П. А. Снетков, В. А. Левко, Е. Б. Пшенко, М. А. Лубнин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЯЗКОСТИ, УПРУГОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ПРИ АБРАЗИВНО-ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ*

Установлены численные значения коэффициентов вязкости, упругости и пластичности рабочей среды. Выявлены экспериментальные зависимости вязкости и упругости среды от степени ее наполнения и зернистости абразивных зерен.

Ключевые слова: абразивно-экструзионная обработка, реологические характеристики, вязкоупругая среда, способность к пластическим деформациям, абразивные частицы, скорость сдвига.

Одним из новых видов обработки является абразивно-экструзионная обработка (АЭО), заключающаяся в снятии слоя материала с поверхности обрабатываемого канала при перепрессовывании под давлением через него рабочей среды, состоящей из вязкоупругого основания, наполненного твердыми рабочими элементами (чаще всего – абразивные или алмазные зерна).

Процесс АЭО является сложным. При его реализации возникает целый ряд физических явлений, влияющих на качество и производительность обработки. Для внедрения абразивно-экструзионной обработки в производство конкретных деталей необходимо провести достаточ-

но большой объем экспериментальных исследований, связанных с определением оптимального состава рабочей среды и режимов ее перепрессовывания, обусловленными физико-механическими и геометрическими характеристиками обрабатываемых каналов. Такие исследования требуют значительных затрат, составляющих до 60 % от общих затрат на внедрение этой технологии в производство.

Основными параметрами технологического процесса абразивно-экструзионной обработки являются объем рабочей среды, давление гидравлической системы установки в продавливающем и принимающем рабочем ци-

*Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. № 1121.

линдре установки для АЭО, величина (дисперсность) и процентное содержание (концентрация) абразивного зерна в рабочей среде, его физико-механические характеристики, а также количество циклов обработки. Большое влияние на качество и производительность процесса оказывают геометрические характеристики обрабатываемого канала – его радиус и длина, площадь и периметр поперечного сечения, а также исходные физико-химические свойства поверхностного слоя.

Режущая способность рабочей среды как абразивно-инструмента зависит от условий течения в обрабатываемом канале и ее вязкоупругих и пластичных свойств. Вязкие и пластичные свойства определяют ее текучесть, упругие свойства – жесткость. Для проведения теоретических расчетов характеристик потока рабочей среды при АЭО необходимо экспериментально установить зависимости эффективной вязкости η , коэффициента Пуассона и модуля Юнга рабочей среды от степени ее наполнения и дисперсности абразивного зерна.

Характеристики рабочей среды зависят от степени наполнения полимерной основы (концентрации Ka абразивных зерен в среде), их величины (зернистости Va), а также давления в подающем цилиндре $P_{вх}$.

При изменении Ka и Va , изменяется не только плотность с среды и ее вязкость, но и ее реологические характеристики – коэффициенты касательных и нормальных напряжений, скорость потока и скорость сдвига, а также все кривые зависимостей течения сдвига от напряжения сдвига.

Поскольку характер вязкого течения среды при абразивно-экструзионной обработке в круглом канале большой длины подобен течению жидкости в капиллярном вискозиметре, для исследования ее вязких свойств разработан аналогичный метод, основанный на экспериментальном установлении величин максимальной скорости потока ω_{max} и перепада давлений ΔP на участке цилиндрического канала длиной L и диаметром d . При подстановке полученных экспериментальных значений ω_{max} и ΔP в преобразованную формулу Пуайзеля при известных L и d , определена величина эффективной вязкости η

$$\eta = \frac{\Delta P}{\omega_{max}} \cdot \frac{R^2}{8 \cdot L}.$$

Для регистрации параметров применена измерительная система разработанного комплекса для исследований. Эксперименты проведены на экспериментальной установке УЭШ-25 с применением специального приспособления (рис. 1).

Приспособление состоит из стального корпуса 1, подвергнутого термообработке, с круглым каналом 2 диаметром 25 мм, совпадающим с диаметром рабочих цилиндров 3 и 4 установки – УЭШ-25, с датчиками давления 5 и 6, а также температурным датчиком 7.

На осциллограмме (рис. 2) регистрируется изменение давления в текущий момент времени в сечениях датчика 5 (P_1) и 6 (P_2).

Время определено на осциллограмме по задаваемому шагу отсечки $t_{ц} = 0,2$ с. На линии P_1 выявляют точку начала отклонения от нулевого уровня показаний 1. Аналогично находят начало появления давления среды в точ-

ке 2 для линии P_2 . Через найденные точки 1 и 2 проводят вертикальные линии к линиям P_1 и P_2 соответственно. Расстояние $t_{ц}$ между нормальными соответствует минимальному времени течения среды от сечения датчика 5 к сечению датчика 6. По известному расстоянию между сечениями ($L = 0,07$ м) и $t_{ц}$, рассчитывают максимальную скорость потока ω_{max} на этом участке. Далее находят точку 3, которая является пересечением нормали через точку 2, лежащей на линии P_2 , и точку 4 линии P_1 .

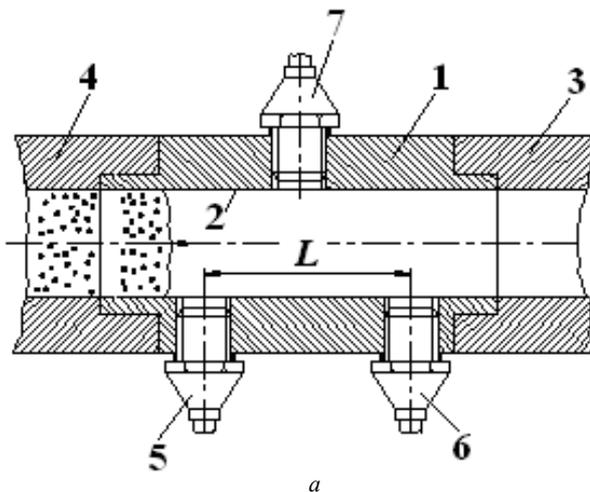


Рис. 1. Устройство для исследования вязких и пластичных свойств: а – схема; б – корпус устройства с двумя переходниками

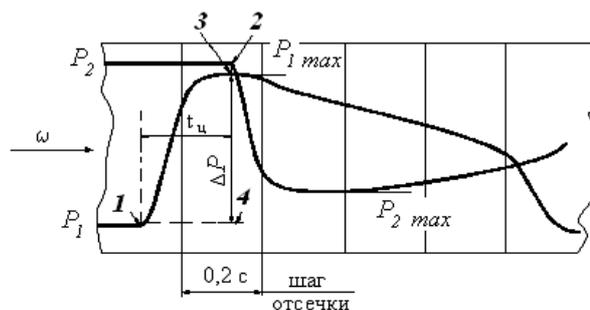


Рис. 2. Схема регистрации данных на осциллограмме

Точные значения физических величин $t_{ц}$ и ΔP рассчитаны с учетом тарировки датчиков и величины шага от-

сечки $t_{ц}$. Разность давлений между двумя сечениями $\Delta P = P_1 - P_2$ равна расстоянию между точками 3 и 4 на осциллограмме, умноженному на масштаб тарировки. Для каждого условия эксперимента проведено по шесть опытов с рандомизацией по времени и контролем температуры среды.

Исследование зависимости коэффициента η от Ba и $P_{вх}$ проведены по плану Коно ($m = 2, n = 3$). Для математической обработки произведено кодирование переменных $X_1 = Ba; X_2 = P_{вх}; Y_1 = \eta$. Варьируемыми факторами были зернистость Ba и величина давления $P_{вх}$. Каждый опыт повторялся шесть раз с рандомизацией во времени. Условия опытов по девяти режимам и результаты экспериментов приведены в табл. 1.

В результате исследований установлено, что чем выше степень наполнения полимерной основы рабочей среды абразивом, тем выше ее эффективная вязкость. При равном весовом наполнении Ka абразивами различной зернистости Ba больший коэффициент η наблюдается при наполнении абразивами меньшей величины.

Увеличение $P_{вх}$ при экструзии среды улучшает условия обработки за счет возрастания напряжения сдвига и скорости потока среды и градиента скорости.

Модуль Юнга и коэффициент Пуассона характеризуют упругие свойства рабочей среды. Упругие характеристики среды зависят от степени их наполнения Ka и дисперсности наполнителя Ba . Численные значения этих показателей требуются при расчете контакта рабочей среды с обрабатываемой деталью и оцениваются по изменению длины $l - l'$ и диаметра $d' - d$ образца среды при его сжатии нагрузкой F (рис. 3).

Направляющие оси 5 установлены в бронзовые втулки основания 2 приспособления с натягом, а во втулки весовой планки 3 – со скользящей посадкой. Образец рабочей среды формируется в рабочем цилиндре экспериментальной установки УЭШ-25, устанавливаемом в определенном положении, что позволяет обеспечить его стабильные размеры. Номинальный диаметр образца до деформации $d = 25$ мм, номинальная длина образца до деформации $l = 50$ мм. Площадь поперечного сечения образца $S_{обр} = 0,00049$ м². Измерение размеров образца проводилось при помощи штангенциркуля и микрометра.

Масса весовой планки и дополнительного груза подбирались таким образом, чтобы образец деформировался преимущественно упруго и выполнялась линейная зависимость изменения его размеров от приложенной

нагрузки. Общая масса составила 150 гр. Время выдержки составило 3...10 с.

Исходя из определений модуля Юнга E и коэффициента Пуассона μ возможно экспериментально определить их величины:

$$F = \frac{m_{нар}g}{S_{обр}} = E \frac{l-l'}{l} \text{ и } \mu = \frac{(d-d')/d}{(l-l')/l},$$

где $m_{нар}$ – масса приложенной нагрузки.

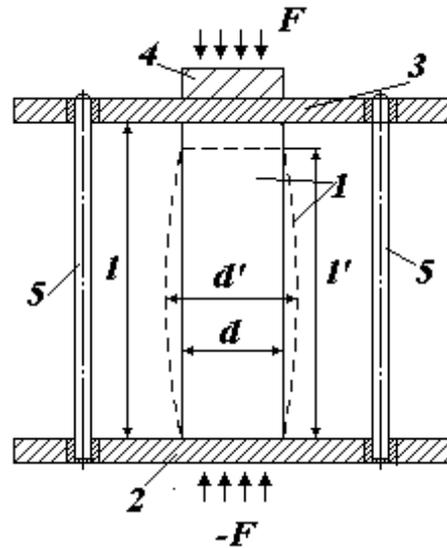


Рис. 3. Приспособление и схема измерения модуля Юнга и коэффициента Пуассона среды: 1 – образец рабочей среды; 2 – основание приспособления; 3 – весовая планка; 4 – дополнительный груз; 5 – направляющие оси; 6 – микрометр

Таблица 1

Зависимость η от Ba и величины входного давления $P_{вх}$

№ п/п	Ba , мкм	$P_{вх}$, МПа	η , Па·с
1	300	9,0	36 892
2	400	9,0	36 093
3	500	9,0	29 215
4	300	7,5	32 368
5	400	7,5	30 402
6	500	7,5	23 204
7	300	6,0	27 283
8	400	6,0	24 166
9	500	6,0	16 223

Результаты исследований зависимости модуля Юнга рабочих сред от степени наполнения и величины абразивного наполнителя приведены в табл. 2.

Экспериментально установлено (рис. 4), что при увеличении Ka более чем на 80 %, закрепленность абразива в полимерной основе среды существенно уменьшается. Это явление приводит к потере текучести среды и выпадению зерен из полимерной основы, что существенно ухудшает условия абразивно-экструзионной обработки. Поэтому данный показатель был принят за граничное условие максимальной степени наполнения. Величина коэффициента Пуассона m полимерной основы без абразивного наполнителя 1,34, для наполненных сред его экспериментально измеренная величина колеблется в интервале 0,4...0,42.

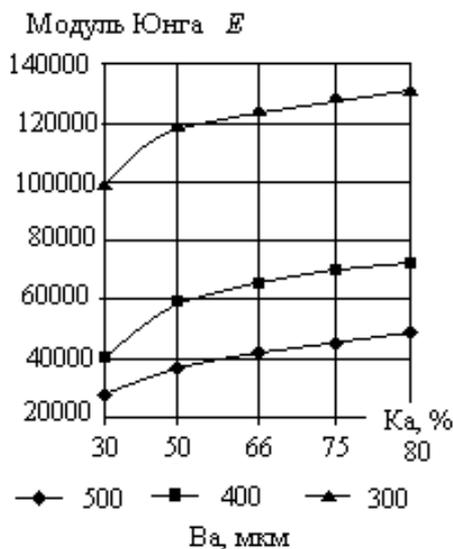


Рис. 4. Зависимость модуля Юнга рабочей среды от степени наполнения абразивными зёрнами и величины абразивного наполнителя

Модуль Юнга E возрастает при увеличении степени наполнения и уменьшении дисперсности абразивных зёр-

рен. Этот эффект объясняется с помощью преобразованной модели Каргина–Слонимского–Рауза [1], описывающей рабочую среду как вязкопластичную среду, наполненную упругими цепочками, образованными абразивными зёрнами и полимерной основой.

В полимерной основе без наполнителя цепочки абразивных зёрн отсутствуют. Уменьшение дисперсности наполнителя при одинаковом массовом наполнении приводит к возрастанию количества абразивных зёрн в среде. Чем больше количество абразивных зёрн в среде, тем больше в среде возникает цепочек, длина сегментов которых, в свою очередь, уменьшается. Более короткие сегменты цепочки обуславливают ее повышенную упругость и вязкость. Пластичность среды при этом снижается.

Для оценки режущих свойств исследуемых рабочих сред использован метод симплексов с аналогичными исходными данными и ограничениями, составом среды и $P_{вх}$. Результаты экспериментальных исследований абразивно-экструзионной обработки показали, что оптимальная режущая способность, оцениваемая по величине шероховатости поверхности после обработки или ее изменения в процессе обработки ΔRa , величине снятого слоя материала Δh , достигается при использовании такого состава рабочей среды, в котором упругость среды максимальна. Коэффициенты вязкости и пластичности при этом используются для задания граничных условий абразивно-экструзионной обработки конкретной детали. Численные показатели вязкости, упругости и пластичности рабочей среды зависят от геометрических характеристик обрабатываемого канала и требований к состоянию поверхностного слоя детали.

Таким образом, разработанная методика позволила экспериментально определить скорость потока ω_{max} и величину коэффициента эффективной вязкости η рабочей среды различных составов при абразивно-экструзионной обработке, который можно использовать для расчета напорно-расходных характеристик среды в обрабатываемом канале.

Таблица 2

Упругие характеристики рабочих сред

Средняя дисперсность $Ba, \mu m$	Весовое наполнение $Ka, \%$	Модуль Юнга	Коэффициент Пуассона
0	0	22 760	1,34
320	30	97 955	0,411
320	50	119 600	0,411
320	66	124 300	0,411
320	75	128 250	0,411
320	80	132 500	0,411
400	30	40 480	0,40
400	50	59 200	0,40
400	66	65 100	0,40
400	75	70 400	0,40
400	80	73 100	0,40
500	30	27 000	0,42
500	50	37 000	0,42
500	66	42 000	0,42
500	75	46 000	0,42
500	80	51 000	0,42

Установлена степень влияния наполнения абразивом Ka , величины Va абразивных зерен и входного давления $P_{вх}$ на вязкие, упругие и пластичные свойства среды. С возрастанием $P_{вх}$ и содержания абразива в среде Ka среды коэффициенты η увеличиваются. Это обусловлено тем, что при увеличении скорости сдвига более интенсивно разрушается пространственная структура среды. При этом эффективная вязкость, касательные и нормальные напряжения становятся больше. Так, для среды зернистостью $Va = 400$ мкм при входном давлении $P_{вх} = 6$ МПа коэффициент $\eta = 24\ 166$ ПаС, а при $P_{вх} = 9$ МПа коэффициент $\eta = 36\ 093$ ПаС, т. е. увеличился на 65...70 %.

Экспериментальное определение коэффициентов вязкости, упругости и пластичности позволяет проводить теоретические расчеты точности, производительности и качества абразивно-экструзионной обработки. Полученные численные значения показателей упруго-вязко-пластической среды позволяют осуществить выбор вида контакта абразивных зерен [2]. Установив вид контакта, можно по предложенным методикам [3; 4] рассчитать производительность АЭО и шероховатость обработанного поверхностного слоя детали.

P. A. Snetkov, V. A. Levko, E. B. Pshenko, M. A. Lubnin

EXPERIMENTAL DETERMINATION FACTOR OF VISCOSITY, ELASTICITY, AND PLASTICITY MEDIA FOR ABRASIVE FLOW MACHINING PROCESSING

The numerical values of viscosity, elasticity and plasticity factors in media have been established. Experimental dependence of viscosity and elasticity environments on the degree of its filling and abrasive grains' granularity is revealed.

Keywords: abrasive flow machining, rheological characteristics, viscoelastic media, flowable abrasive particles, shear rate.

© Снетков П. А., Левко В. А., Пшенко Е. Б., Лубнин М. А., 2009

УДК 621.924

В. А. Левко, М. А. Лубнин, П. А. Снетков, Е. Б. Пшенко, Д. М. Турилов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ОБРАБАТЫВАЕМОГО КАНАЛА НА ТЕЧЕНИЕ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ПРИ АБРАЗивно-ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ*

Проведены визуальные исследования характера потока рабочей среды как абразивного инструмента. Установлена степень влияния формы обрабатываемого канала и местных сопротивлений на особенности течения. Разработаны рекомендации по выравниванию условий обработки.

Ключевые слова: абразивно-экструзионная обработка, повышение качества поверхности, течение абразивной рабочей среды, визуальные исследования, местные сопротивления, форма поперечного сечения.

Анализ конструктивных особенностей деталей летательных аппаратов (ЛА) выявил широкую номенклатуру каналов с сечениями различной формы, а также наличие различных местных сопротивлений типа лопатки, выступа и т. п.

Установлено 28 типовых элементов с различной геометрической формой сечения, которые встречаются в деталях ЛА.

Визуальные исследования заключались в фиксации процесса течения рабочей среды (РС) в каналах раз-

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. № 1121.

личной конфигурации и обтекания ей различных местных сопротивлений, а также измерения давления РС на входе $P_{вх}$ и выходе $P_{вых}$ образца.

Для проведения визуальных исследований разработано устройство (рис. 1). Оно состоит из корпуса 1, в паз которого устанавливаются образцы-имитаторы 2, крышки 3 и два переходника 4 и 5. Крышка 3 и корпус 1, соединенные между собой замковым соединением, образуют прямоугольный канал сечением 10×50 мм и длиной 130 мм. Крышка имеет окно 6 из органического стекла толщиной 20 мм. В корпусе 1 смонтированы два датчика давления 7 и 8. Переходники 4 и 5 обеспечивают плавный переход от круглого сечения в цилиндрах до прямоугольного в устройстве, а также закрепление его в установке.

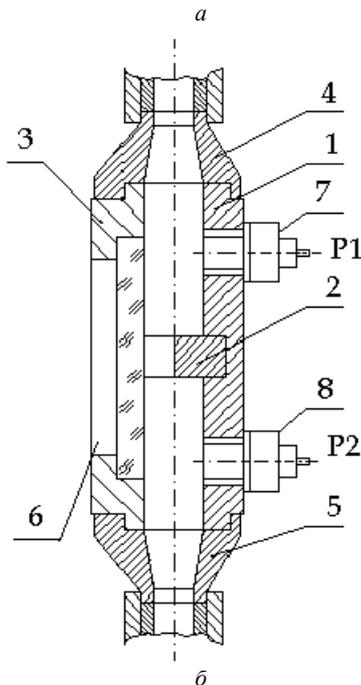
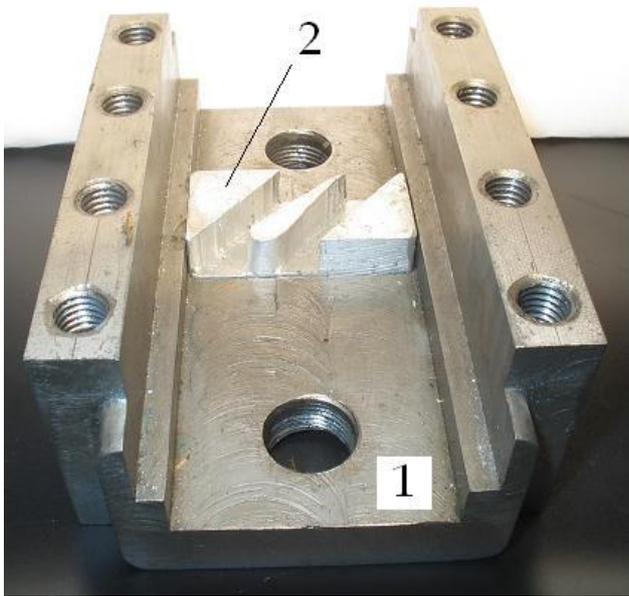


Рис. 1. Устройство для визуальных исследований процесса АЭО: а – корпус с образцом; б – схема устройства

Для проведения экспериментов использована РС следующего состава: каучук СКТ (ГОСТ 14680–74) – 48 %; фторопласт-4 – 2 %; черный карбид кремния 53С (величина зерна $Ba = 250$ мкм) – 50 %. Визуально РС данного состава имеет темно-серый цвет. На ее поверхность, помещенную в приспособлении, путем продавливания шаблоном наносится прямоугольная сетка размером 15×15 мм и глубиной до 2 мм, которая засыпается белым электрокорундом 25А с величиной зерна $Ba = 250$ мкм. Белая сетка имеет хорошую контрастность с поверхностью РС, что обеспечивает четкую фотографию. Схема нанесения (рис. 2) моделирует цепочки абразивных зерен. Съемка велась со скоростью 48 кадров в секунду на высококонтрастную негативную киноплёнку.

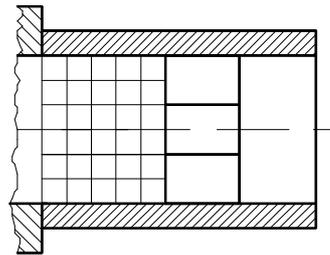


Рис. 2. Сетка на поверхности среды, моделирующая цепочки абразивных зерен

На основе исследований характера течения на осциллограмме, киноплёнке, по фотографиям и по царапинам на окошках 6 из оргстекла выявлены характерные особенности течения РС, оцениваемые и по степени деформации нанесенной сетки, и непосредственно наблюдением за потоком. Образцы и схемы потока РС в исследуемых каналах показаны на рис. 3. Стрелками показано направление течения, темным цветом – застойные зоны.

Каждый образец оказывает на поток определенное влияние, величину которого можно выразить коэффициентом местного сопротивления ξ_m .

$$\xi_m = \xi_{кв} + \gamma_c / Re,$$

где $\xi_{кв}$ – коэффициент конфигурации геометрии потока; γ_c – безразмерный градиент скорости; Re – число Рейнольдса.

Для случая АЭО $\gamma_c \approx 0,01 \dots 0,1$ и $Re < 1$. Отсюда можно принять $\xi_m \approx \xi_{кв}$. Следовательно коэффициент $\xi_{кв}$, характеризующий потери давления потока при прохождении через данный канал, будет определять и величину местных потерь потока при АЭО, т. е. $\xi_{кв} \approx P_{вх} / P_{вых}$.

Результаты исследований показывают, что наибольшие потери давления поток испытывает в конусных каналах (№ 5...7). Коэффициент $\xi_{кв}$ принимает значения 20,0...23,5.

Зубчатый венец с двенадцатью треугольными каналами (№ 28) создает перепад давления 5,2. Для каналов с различными лопатками (№ 17...26) $\xi_{кв}$ изменяется от 1,8 до 2,1.

При обработке каналов с малым входным сечением (№ 3, 4) потери давления снижаются более чем в два раза, но величина коэффициента $\xi_{кв} = 8,4 \dots 10,0$ остается значительной. Если на входе в каналах с малым входным сечением есть скругления или фаски (№ 8, 9), то величина снижается до 3,4...3,7.

Для каналов с местными сопротивлениями (№ 10...15) значение $\xi_{кв}$ имеет величину 1,4...3,0 в зависимости от вида сопротивления. Для трех параллельных каналов (№ 16) перепад давления составил 2,3.

Полученные значения $\xi_{кв}$ могут быть использованы для оценки влияния формы сечения канала и вида местного сопротивления на перепад давлений рабочей среды при АЭО. Величина $\xi_{кв}$ в данном случае является относительной, так как не учитывает потери давления по длине от датчика 7 до образца и от образца до датчика 8 (рис. 1).

На рис. 4–7 приведены фотографии, иллюстрирующие содержание фильма процесса течения среды через некоторые образцы. Направление течения слева направо.

Образец № 1 (рис. 4) представляет собой местное сужение канала от прямой щели к полуцилиндру. В начальный момент течения в центре канала среда, не встречая препятствия, начинает процесс сдвигового течения в полуцилиндр. При этом происходит деформация сетки – удлинение по оси течения и сжатие в поперечном направлении. В тех местах, где среда упирается в переднюю боковую поверхность образца, течение среды отсутствует.

В этот момент в среде происходит перестройка профиля течения РС и образуется две зоны с различными условиями деформирования. В зоне сдвигового течения наблюдается установившийся сдвиговый поток. Характер измене-

ния сетки показывает наличие градиента скорости потока, который может быть описан гидродинамическими теориями. Напряжение упругой цепочки описывается преобразованной моделью Каргина–Слонимского–Рауза [1].

Во второй зоне наблюдается сжатие цепочки. Величина сжатия зависит от упругих свойств цепочки. Таким образом, в среде формируется две зоны с разными условиями деформирования. В первой зоне наблюдается напряжение растяжения, во второй зоне – напряжение сжатия.

При достижении определенного критического значения, происходит сдвиг среды зоны 1 относительно среды в зоне 2. Отчетливо просматривается граница между зонами 3. В этот момент окончательно формируется профиль потока и в зоне 1 напряжение растяжения переходит в режим сдвигового потока 4. Данный переход отчетливо прослеживается на осциллограммах.

Далее при перемещении поршня в рабочем цилиндре все большая часть РС увлекается из зоны 2 в поток. Однако непосредственно перед препятствием в зоне 2 формируется застойная зона. В исследуемом образце застойная зона не образуется, контакт РС осуществляется по всей поверхности исследуемого образца. Применение выравнивающих устройств не требуется.

При истечении среды из образца наблюдается эффект упругого восстановления струи, свидетельствующий о

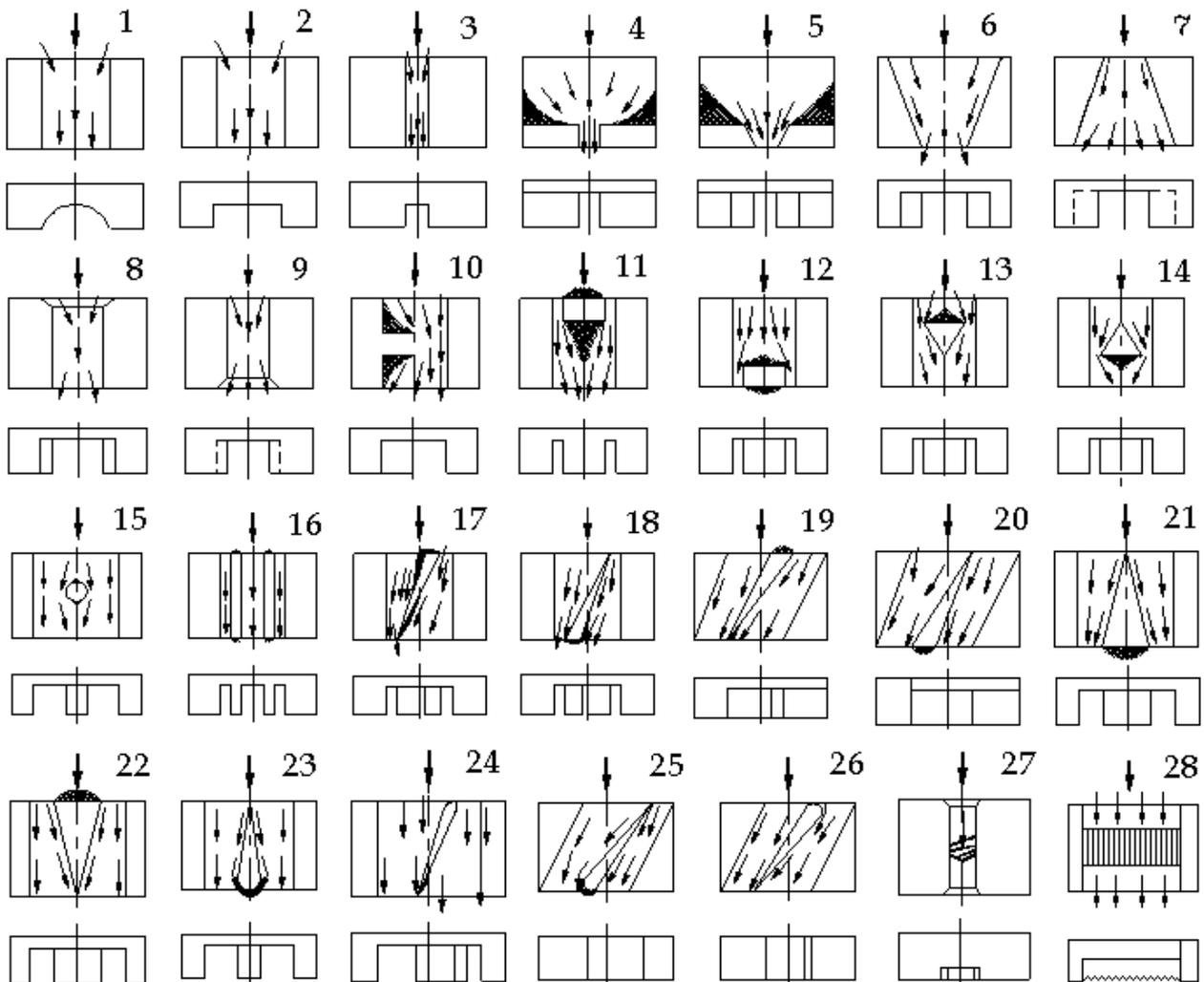


Рис. 3. Схема характера течения РС в каналах образцов

накопленных в потоке упругих деформациях. Этот эффект подробно описан ранее [2]. Особенно явно данный эффект проявляется при истечении из каналов малых размеров, например в образцах № 3, 4 и 5.

При течении среды в конусных каналах с переменной площадью поперечного сечения картина потока другая. Рассматривалось течение в диффузоре – образец № 6 (рис. 5) и в конфузоре – образец № 7 (рис. 6). Неравномерность обработки объясняется характером сдвигового течения среды в конусном канале.

При течении среды в диффузоре заметно уменьшение скорости в конусной части и плавная перестройка профиля потока. Нормальные напряжения накапливаются, а касательные уменьшаются. Давление в конусной части возрастает, а скорость потока и градиент скорости уменьшаются. При установившемся течении максимальное давление потока на стенку канала наблюдается в сечении с минимальной площадью, т. е. на выходной кромке канала. При таком движении потока возможно обеспечить равномерную обработку и съем металла

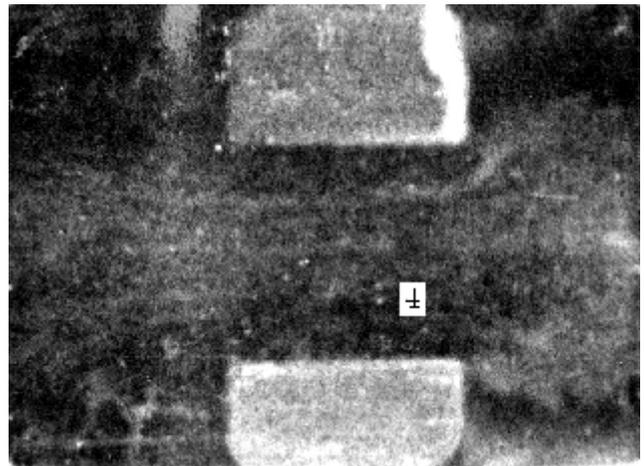
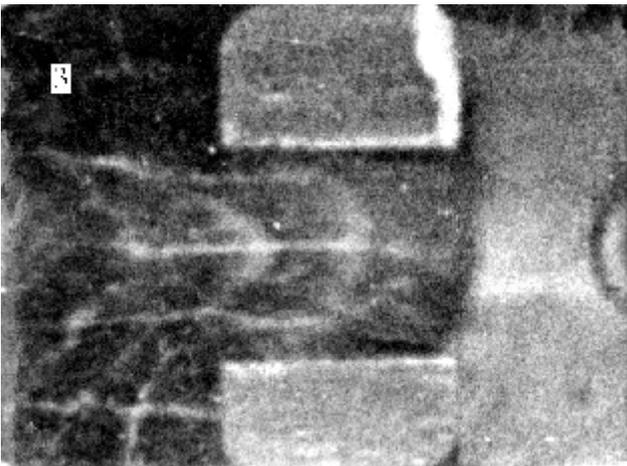
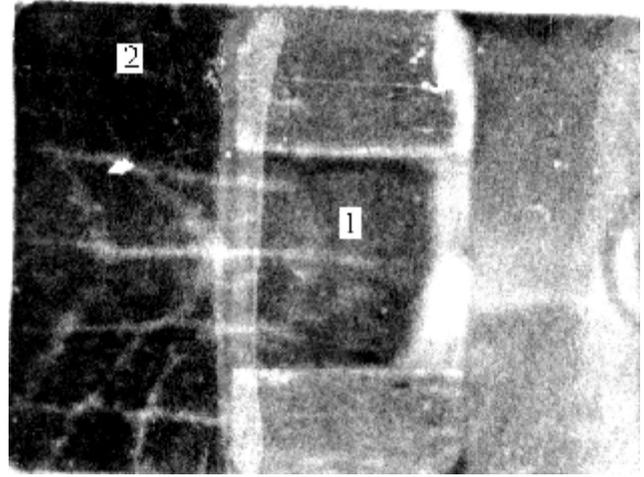
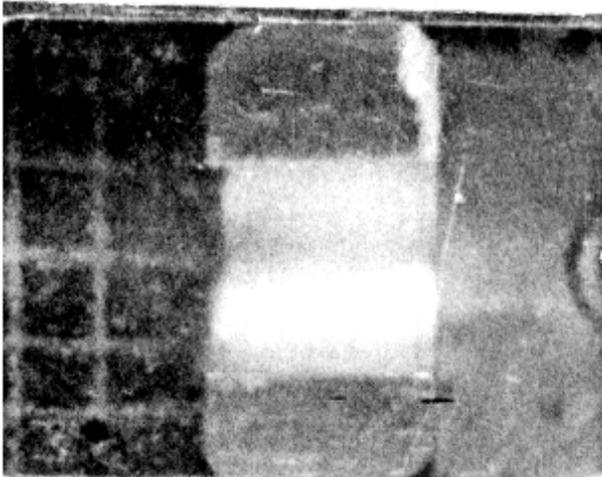


Рис. 4. Процесс течения в образце № 1

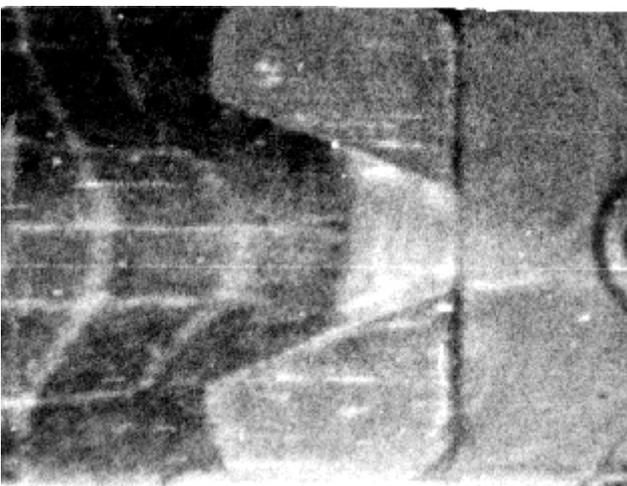


Рис. 5. Процесс течения в образце № 6 (диффузор)

в пределах заданного припуска в цилиндрической части канала.

При входе потока в конусную часть конфузора канала в первоначальный момент времени наблюдается отрыв потока высоковязкой среды от стенки канала. Этот явление наблюдается сравнительно небольшой промежуток времени 0,2...1,1 с.

В это же время, в среде происходит релаксация накопленных напряжений и начинает проявляться эффект упругого восстановления струи, т. е. увеличение ее размеров и постепенное заполнение всего объема обрабатываемого канала.

За переходной кромкой происходит мгновенный переход от стесненного течения к свободному истечению струи. В этот момент величина релаксации упругих деформаций, накопленных в среде при течении в цилиндрической части, максимальна. На переходной кромке, наблюдается максимальное значение давления потока на стенку обрабатываемого канала.

Равномерность обработки в конусном канале без применения специальных выравнивающих устройств добиться сложно, поскольку изменение профиля потока происходит непосредственно в обрабатываемом канале. В особый случай течения можно выделить однонаправленную АЭО диффузора.

В деталях ЛА встречаются конструктивные элементы, которые можно отнести к местным сопротивлениям. В данных исследованиях эти сопротивления представлены образцами № 10...15.

Течению в канале с боковой перегородкой (рис. 7), характерно смещение потока среды 4 от центральной оси канала. При этом на входе в канал возникает не две, а три зоны застоя 2. Две на входе в канал и одна перед перегородкой. За перегородкой наблюдается отрыв потока от стенки обрабатываемого канала. Вследствие эффекта упругого восстановления происходит постепенное заполнение всего объема исследуемого канала, в том числе и за перегородкой. После заполнения этого участка канала средой в нем возникает застойная зона. Основная часть потока скользит по границе этой зоны. Обрабатывается только поверхность перегородки, которая параллельна основному потоку.

Другой формой местного сопротивления, которое встречается в деталях ЛА, является прямоугольное сопротивление на входе и на выходе канала (рис. 8).

Особенностью течения в этом образце является разделение потока на две части. Формируются две зоны растяжения 1 и три зоны сжатия 2. Две из этих зон расположены сбоку от входа в обрабатываемый канал, а еще одна – на фронтальной поверхности прямоугольного сопротивления. После начала сдвигового течения образуется



Рис. 6. Процесс течения в образце № 7 (конфузор)

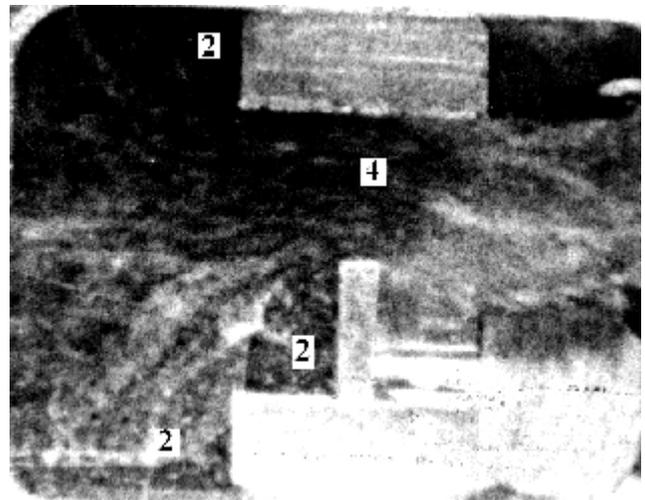
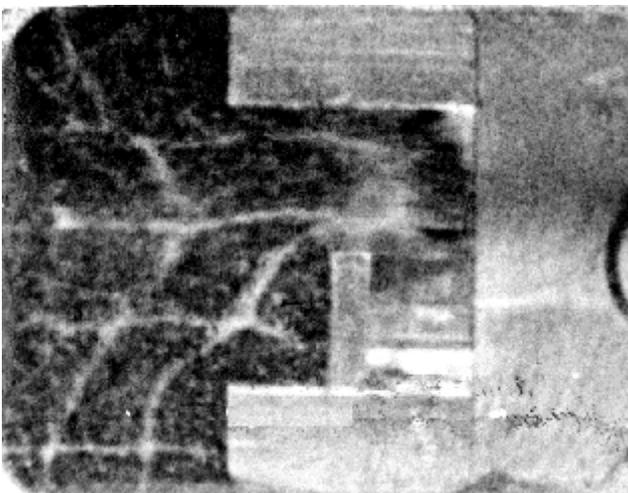


Рис. 7. Процесс течения в образце № 10 (перегородка)

две зоны течения 4 с образованием на выходе из канала зон упругого восстановления 5.

Для деталей ЛА характерно наличие нескольких параллельно расположенных друг относительно друга каналов, имеющих идентичные геометрические характеристики. Профиль потока формируется на входе в каналы (рис. 9). На плоских фронтальных кромках каналов образуются застойные зоны. Расходно-напорные характеристики потоков в каналах практически идентичны.

Основными конструктивными элементами деталей ЛА являются различные лопатки. В исследованиях лопатки представлены образцами № 17...26.

Течение в прямом прямоугольном канале с наклонной лопаткой с прямым основанием вперед (образец № 17) показано на рис. 10. Лопатка разбивает прямой прямоугольный канал на две части с переменной формой сечения. В этом случае в каналах режимы деформирования среды различные. В имеющей меньшее по пло-

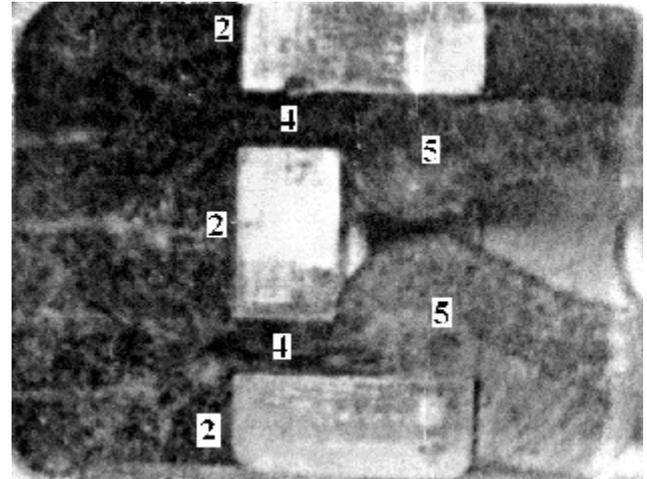
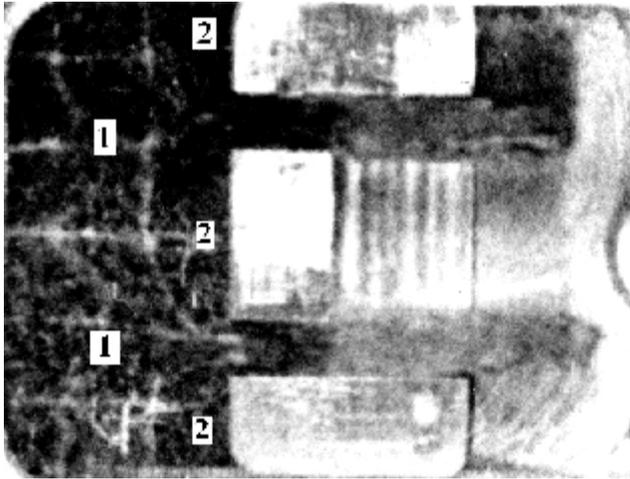


Рис. 8. Процесс течения в образце № 11 (препятствие на входе)

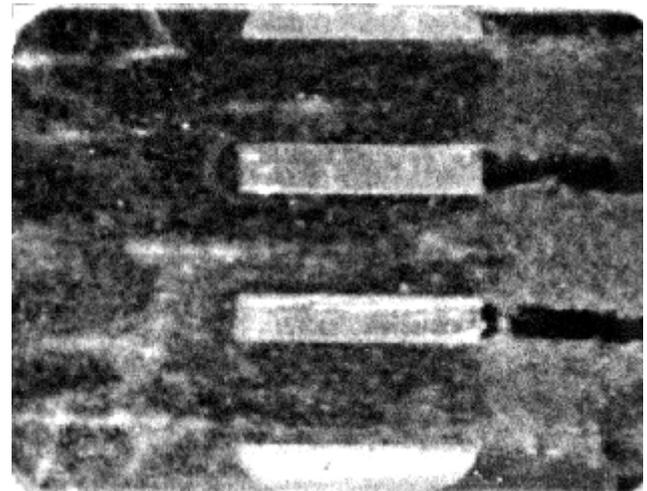
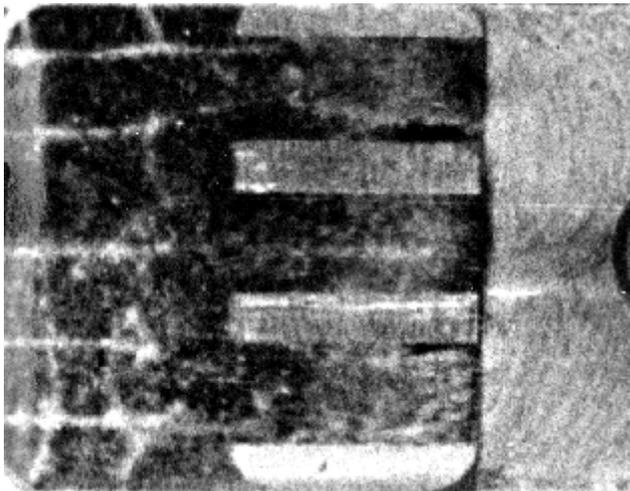


Рис. 9. Процесс течения в образце № 16 (параллельные каналы)

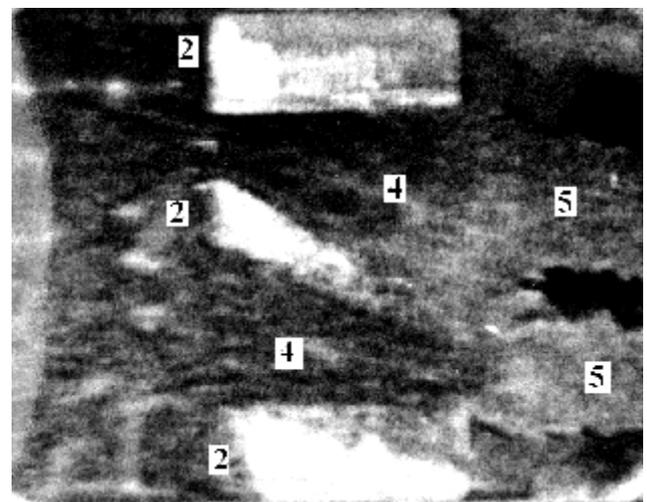
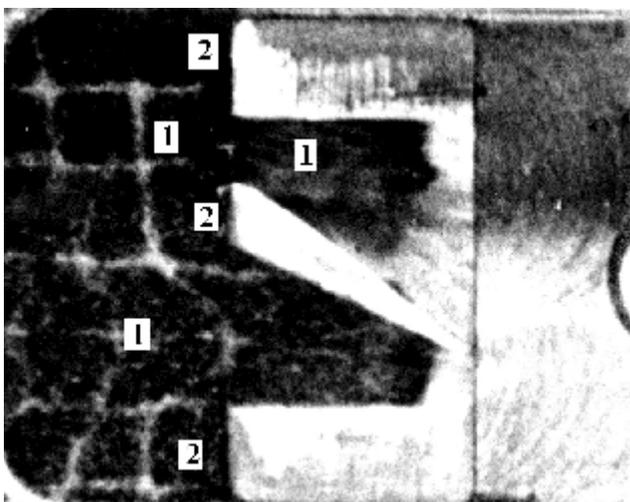


Рис. 10. Процесс течения в образце № 17

щадной входной отверстие расширяющейся части канала наблюдается зона 1 деформация удлинения среды.

В имеющей большее сечение входного отверстия сужающейся части канала в центральной части наблюдается зона удлинения, которое к стенкам канала сменяется зоной сжатия. Застойные зоны 2 наблюдаются на поверхностях, перпендикулярных основному направлению деформирования среды.

После перестройки профиля в зонах деформации растяжения-сжатия происходит деформация 4 сдвигового течения среды с последующим эффектом упругого восстановления 5. Основная обработка происходит в сечениях, имеющих меньшую площадь.

Другая картина течения среды наблюдается при АЭО наклонных каналов, имеющих наклонные лопатки. Течение среды в наклонном канале с наклонной лопаткой с прямым основанием вперед – образец № 19 (рис. 11). Поскольку исследуемый канал имеет угол наклона относительно центральной оси рабочего цилиндра, меняется и направление течения.

Перестройка профиля потока среды происходит на входе в обрабатываемый канал. Образуется две зоны застоя 2 и две зоны растяжения 1. После достижения критического значения в зонах 1 растяжение сменяется течением сдвига и в двух частях канала также реализуется про-

цесс сдвигового течения в зонах 4 с последующим упругим восстановлением среды в зоне 5.

Срыва потока с острой входной кромки не наблюдается. Обрабатывается вся поверхность канала, за исключением прямого основания лопатки на входе в канал. Размер застойной зоны 2 в течение всего процесса обработки не меняется.

Отдельную группу деталей ЛА относятся конструктивные элементы, имеющие каналы большой длины L_k и малые поперечные сечения $S_{сеч}$ с соотношением $L_k / S_{сеч} \gg 1$. При течении через малое сечение (рис. 12) в канале произошло образование комплекса зерен, препятствующего течению сдвига.

Поршень рабочего цилиндра не смог обеспечить необходимую величину напряжения сдвига и произошло заклинивание абразивного инструмента. Для АЭО таких каналов необходимо использовать РС специальных составов с пониженной вязкостью.

В результате исследований конструктивные элементы по условиям обработки можно разделить на пять групп.

К первой группе относятся каналы с постоянной формой поперечного сечения (№ 1...4, 8, 9, 28), которое не влияет на поток. Они имеют небольшие значения коэффициента конфигурации потока $\xi_{кв}$. Фаска на входе в

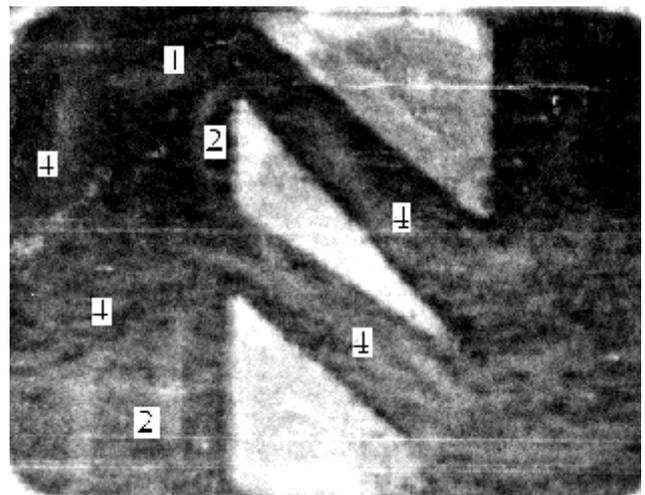
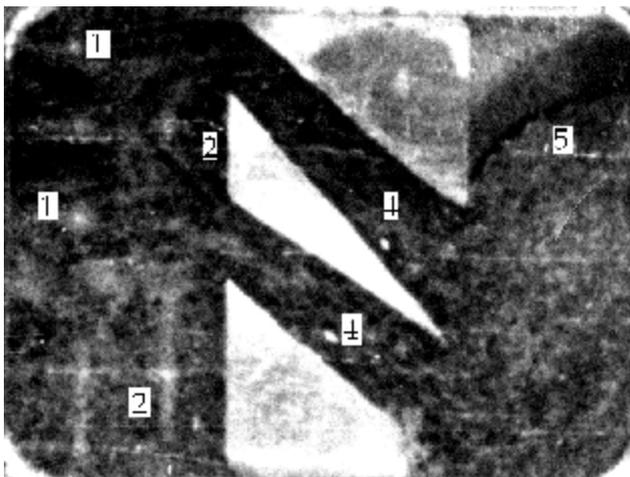


Рис. 11. Процесс течения в образце № 19

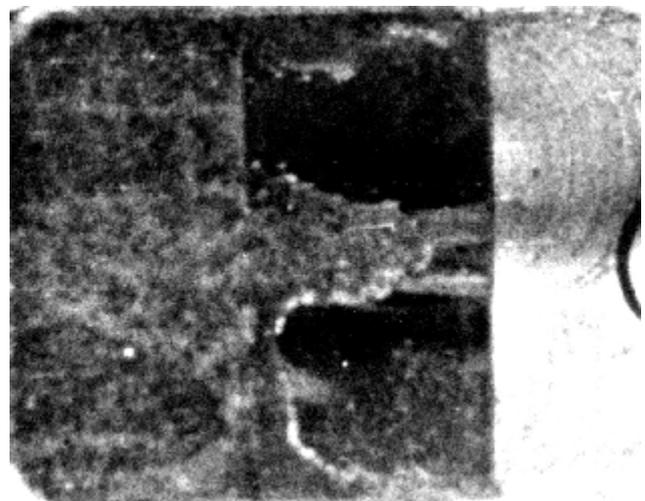
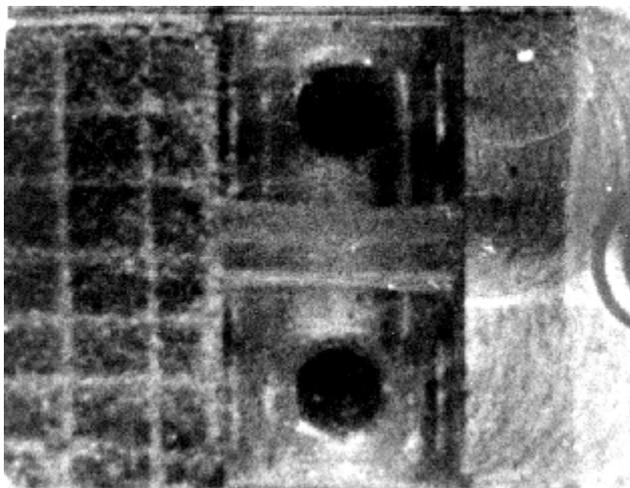


Рис. 12. Процесс течения в образце № 23

канал (№ 8) обеспечивает более плавный вход РС в канал, снижая коэффициент $\xi_{\text{кв}}$. Так, у канала с фаской (№ 8) $= 3,4$ меньше, чем у подобного канала (№ 9) с фаской на выходе $= 3,7$. Для таких каналов корректировка напряженно-деформированного состояния потока проводится по специальной методике.

Ко второй группе относятся конусные каналы, потери давления среды в которых максимальны. Для равномерной обработки таких каналов рекомендуется изменить режим течения от конуса к кольцевой щели (№ 5...7) или применять однонаправленную АЭО (№ 6).

В третьей группе, включающей себя каналы с местными сопротивлениями, при АЭО остаются необработанными поверхности, расположенные перпендикулярно потоку (№ 10...15). Для их обработки необходимо изменить направление потока за счет выравнивающих устройств.

Для равномерной обработки каналов с лопатками, которые относятся к четвертой группе (№ 16...26), необходимо обеспечить равномерный расход среды в каждом из каналов, за счет формирования профиля потока на входе в эти каналы.

В пятую группу отнесены микроотверстия, требующие применения рабочих сред с пониженной эффективной вязкостью и малой дисперсностью абразивного наполнителя (№ 27).

При анализе движения отдельных абразивных зерен в потоке среды установлено, что они перемещаются по линиям тока. При установившемся течении расстояние между соседними зернами не изменяется. Тем самым

подтверждается предположение об образовании в потоке упругой цепочки [1]. Установлено, что зерно, контактирующее с обрабатываемой поверхностью, в потоке совершает вращательное движение. В ходе исследований образование вихрей РС возле стенок или в потоке при течениях в канале не наблюдалось.

Исследования позволили определить характер потока РС в каналах различной конфигурации и учитывать его при расчете шероховатости обработанной поверхности и производительности АЭО по разработанной ранее методике [3].

Библиографический список

1. Левко, В. А. Модель течения рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке тонких осесимметричных каналов большой длины / В. А. Левко // Вестн. Чебоксар. гос. пед. ун-та. Механика предельного состояния : сб. науч. тр. / под ред. акад. Д. И. Ивлева ; Чуваш. гос. пед. ун-т. Чебоксары, 2008. № 2. С. 85–94.
2. Левко, В. А. Абразивно-экструзионная обработка: современный уровень и теоретические основы процесса : моногр. / В. А. Левко ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2007.
3. Левко, В. А. Расчет шероховатости поверхности при абразивно-экструзионной обработке на основе модели контактных взаимодействий // Авиационная техника. Известия вузов / под ред. проф. В. А. Фирсова ; Казан. гос. техн. ун-т. 2009. № 1. С. 59–62.

V. A. Levko, M. A. Lubnin, P. A. Snetkov, E. B. Pshenko, D. M. Turilov

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF THE CANAL FINISHING SHAPE ON THE FLOW IN MEDIA FOR ABRASIVE FLOW MACHINING PROCESSES

The authors give a visual research on the nature of flow in media and the abrasive tools. The influence of finishing canal shape and form on losses for the flow characters has been established. The researchers have also developed guidelines for leveling processing conditions.

Keywords: abrasive flow machining, improved surface quality, flow of abrasive media, visual research, form losses, cross-sectional shaped

© Левко В. А., Лубнин М. А., Снетков П. А., Пшенко Е. Б., Турилов Д. М., 2009

УГЛОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ АМОРТИЗИРУЕМОГО ОБЪЕКТА С АКТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ДЕМПФИРОВАНИЯ

Исследуются угловые движения амортизируемого объекта с активной системой демпфирования на управляемых пневмоамортизаторах. Рассмотрены приближенные решения для нестационарного сейсмоздействия и приводятся результаты численного моделирования переходных процессов с помощью прикладной программы MATLAB.

Ключевые слова: угловые движения, активная система демпфирования, пневмоамортизатор.

Исследование угловых колебаний амортизируемого объекта (АО) показали, что даже при больших значениях коэффициента демпфирования в элементах подвески, достигаемых как в пассивных, так и управляемых упруго-демпфируемых элементах вызываются при больших габаритах АО недопустимые величины угловых колебаний при сейсмоздействиях [1]. В связи с этим возникает необходимость создания активной системы демпфирования продольно-угловых колебаний АО в низкочастотной области, так как частота сейсмических колебаний основания практически совпадает с собственной частотой АО. Анализ принципиальной возможности создания такой системы сделан в работе [2]. Расчетная принципиальная схема активной системы демпфирования АО с управляемыми пневмоамортизаторами (ПА) показана на рис. 1. В качестве ПА могут использоваться как многоэлементные ПА [3], так и ПА комбинированного типа с активным подводом энергии [4].

Будем полагать, что давление в ПА будет определяться системой автоматического управления процессом актив-

ного демпфирования колебаний АО. В этом случае дифференциальное уравнение угловых колебаний имеет вид

$$J_c \ddot{\varphi} + 2bl^2 \dot{\varphi} + 2cl^2 \varphi = P_1 l_1 S_{\text{эф}} - P_2 l_2 S_{\text{эф}} - c \Delta \xi - b \Delta \xi + 2c_1 \eta_3 + 2b_1 \eta_3, \quad (1)$$

где J_c – момент инерции АО относительно центра масс; c – коэффициент жесткости упругой подвески 5; b – коэффициент вязкого трения в пассивных демпферах 4 (рис. 1); l_1, l_2 – расстояние от центра масс до линии приложения упругих и демпфирующих сил; Z_c, φ – обобщенные координаты; ξ – вертикальные перемещения основания; η – горизонтальные перемещения основания; c_1 – коэффициент жесткости горизонтальной упругой подвески 3; b_1 – коэффициент вязкого трения в демпферах 2.

Система управления должна содержать измерители угловой скорости (с использованием акселерометров), которые управляют процессами наполнения и выпуска воздуха из ПА. Структурная схема системы автоматического управления показана на рис. 2. Система управления

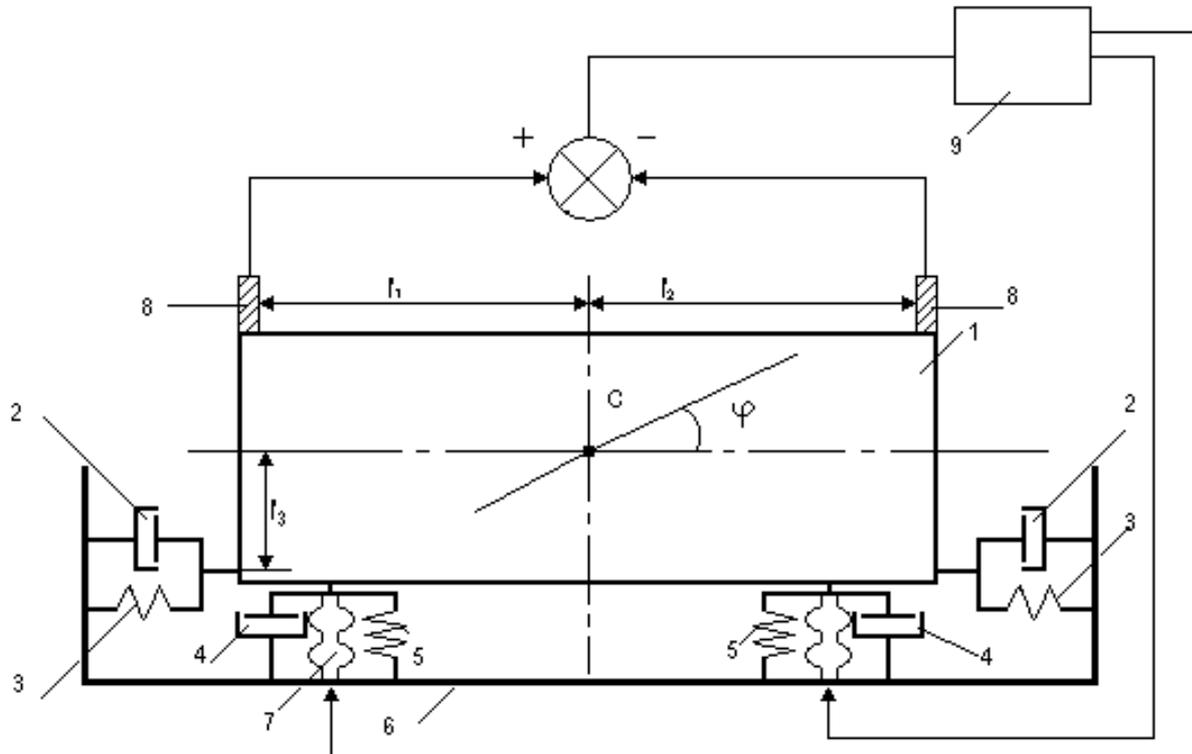


Рис. 1. Расчетная принципиальная схема активной системы демпфирования: 1 – амортизируемый объект; 2 – горизонтальный демпфер; 3 – горизонтальный упругий элемент; 4 – демпфер; 5 – упругий элемент; 6 – основание; 7 – ПА; 8 – акселерометр; 9 – система управления наполнения и выпуска газа из ПА с РКО

работает следующим образом. При определении логическим устройством 2, что $\varphi > 0$, реле 1 включает электромагнитный клапан ЭМК-1 на подачу воздуха под давлением из ресивера в пневмоамортизатор ПА-1 и выключает электромагнитный клапан ЭМК-2, открывая выход воздуха из пневмоамортизатора ПА-2 в атмосферу. При $\varphi < 0$ реле 2 подключает через ЭМК-1 ПА-1 на выход в атмосферу и через ЭМК-2 ПА-2 подключается к ресиверу.

Постоянная времени электромагнитного клапана много меньше времени наполнения и опорожнения объема ПА [5], вследствие чего динамика процессов ПА может быть представлена в первом приближении инерционным звеном первого порядка

$$W(p) = \frac{k}{\tau p + 1} \quad (2)$$

где k – коэффициент передачи; τ – постоянная времени.

Будем полагать, что процессы наполнения и опорожнения объема РКО ПА происходят в надкритическом режиме, для которого справедливы следующие неравенства [5]:

$$\frac{P}{P_p} > \varepsilon_{kp} \text{ и } \frac{P}{P_a} < \varepsilon_{kp},$$

где P – давление в ПА; P_a – атмосферное давление; P_p – давление в ресивере.

Для адиабатического процесса при показателе адиабаты $N = 1,4$ и $\varepsilon_{kp} = 0,589$, если принять, что $P_p = 1$ МПа, $P_a = 0,1$ МПа, то максимальное рабочее давление в ПА $P_{\max} = 0,589$ МПа, а минимальное $P_{\min} = 0,172$ МПа. При повышенном давлении в ПА $P_p = 3$ МПа и $P_a = 0,1$ МПа максимальное рабочее давление в ПА $P_{\max} = 1,77$ МПа при $P_{\min} = 0,172$ МПа.

Известно, что время наполнения объема ПА при изотермическом процессе определяется по выражению [5]

$$t_n = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{10\alpha f P_p \sqrt{TN}},$$

где $\alpha = 0,7$; f – площадь проходного сечения электромагнитного клапана; T – абсолютная температура; N – показатель адиабаты.

Время опорожнения объема ПА при тех же условиях определяется по выражению [5]

$$t_0 = \ln \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \frac{V_0}{RT\alpha f c},$$

где $c = \frac{0,58\sqrt{qNRT}}{RT}$; V_0 – объем ПА в статическом положении объекта; R – газовая постоянная.

Оценка времен t_n и t_0 показывает, что постоянная времени звена первого порядка будет находиться в диапазоне $t = 0,05 \dots 0,2$ с в зависимости от объема используемой РКО ПА и рабочего давления.

Таким образом, система дифференциальных уравнений, описывающих процесс наполнения и опорожнения объема ПА (без учета постоянной времени электромагнитного клапана) будет иметь вид

$$\begin{cases} \text{если } \varphi' > 0 & \begin{cases} \tau P_1' + P_1 = P_p, \\ \tau P_2' + P_2 = P_a, \end{cases} \\ \text{если } \varphi' < 0 & \begin{cases} \tau P_2' + P_2 = P_p, \\ \tau P_1' + P_1 = P_a. \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

Коэффициент жесткости РКО определяется по выражению

$$C_A = \frac{NPS_{\text{эф}}^2}{V} + \frac{\partial S_{\text{эф}}}{\partial z} P.$$

Если принять в первом приближении, что величина $\frac{\partial S_{\text{эф}}}{\partial z}$ мала, а объем V является линейной функцией относительно перемещения, то коэффициент C_A можно найти по выражению

$$C_A \approx \frac{NP_1 S_{\text{эф}}}{h_0},$$

где h_0 – высота РКО в среднем положении.

В соответствии с последним выражением дополнительный упругий элемент (РКО ПА активной системы демпфирования) имеет переменную упругость

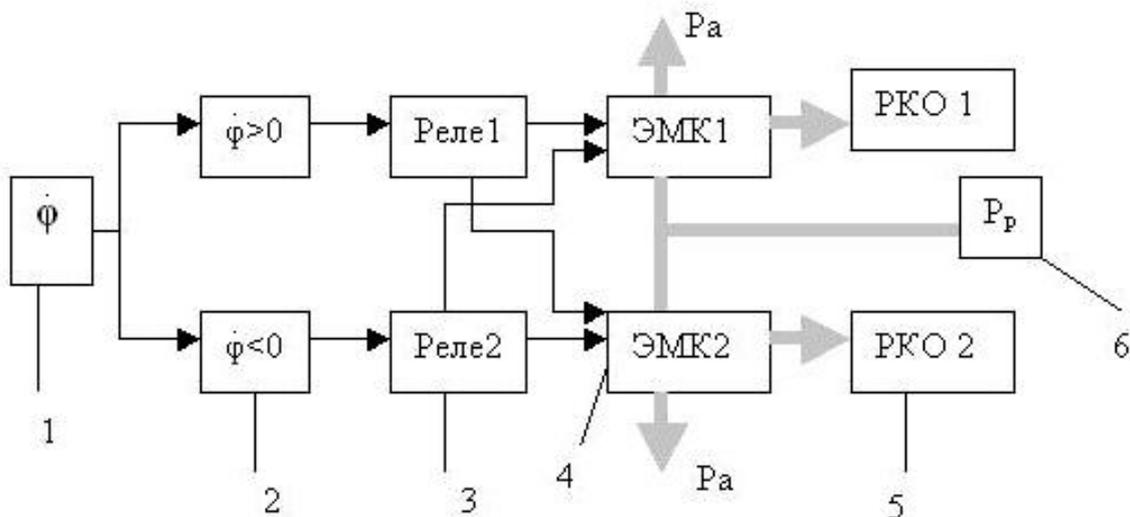


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления: 1 – датчик угловой скорости; 2 – логическое устройство определения; 3 – реле, переключающее подачу электрического сигнала на ЭМК-1 или ЭМК-2; 4 – двухпозиционный электромагнитный клапан; 5 – ПА; 6 – ресивер системы подачи давления газа в ПА (P_a – атмосферное давление, P_p – давление в ресивере)

и уравнение (1) с учетом того, что $L_1 = L_2 = L$, примет вид

$$l_c \varphi'' + 2bl^2 \varphi' + 2l^2 \left[c + \frac{NS_{\text{эф}}}{h_0} (P_1 + P_2) \right] = lS_{\text{эф}} (P_1 + P_2) - \left[c + \frac{NS_{\text{эф}}}{h_0} (P_1 + P_2) \right] \Delta l \xi + b \Delta l \xi' + 2c_1 l_3 + 2b_1 l_3 \eta'. \quad (4)$$

Таким образом, уравнение (4) совместно с системой уравнений (3) достаточно адекватно будет описывать процесс развития угловых колебаний в АО с активной системой демпфирования.

Для анализа нелинейных уравнений (3) и (4) примем, что упруго-демпфирующая подвеска имеет коэффициент жесткости много больше, чем дополнительно устанавливаемые ПА, а процесс наполнения и опорожнения объема ПА в надкритическом режиме происходит по одинаковому закону.

Управляющее звено в первом приближении можно представить в виде идеального релейного элемента

$$\mu(\varphi') = \chi_{\text{max}} \text{sign} \varphi',$$

где χ_{max} – амплитуда перемещения релейного элемента.

При использовании акселерометров в схеме управления после интегратора установлен фильтр, передаточную функцию которого можно представить в виде

$$W_{cp} = \frac{T_p}{T_p p + 1},$$

где T – постоянная времени фильтра. Фильтр подобного вида исключает ошибку из сигнала датчика, которая возникает в результате интегрирования погрешности акселерометра из-за зоны нечувствительности и неопределенности в определении центра тяжести, что может приводить к появлению в структуре полезного сигнала медленно меняющейся погрешности. С учетом вышеизложенного уравнение (4) запишем в виде

$$\varphi'' + k_2 \varphi' + k_1 \varphi + f_1(\varphi') = f(t), \quad (5)$$

где $f_1(\varphi') = \frac{F_1(\varphi')}{l_c}$, $F_1(\varphi') = lS_{\text{эф}}(P_1 + P_2)$, $k_1 = \omega_0^2$;

$$k_2 = 2\xi\omega_0 \quad f(t) = \frac{1}{I_c} (c \Delta l \xi + b \Delta l \xi' + 2c_1 l_3 \eta + 2b_1 l_3 \eta').$$

Структурная схема колебательной системы, соответствующей АО на упруго-демпфирующем подвесе с активной системой демпфирования в случае точного измерения угловой скорости приведена на рис. 3.

Приближенное исследование движений нелинейной системы (рис. 3) выполнено с помощью метода гармонической линеаризации [6]. Для идеального реле можно записать следующее:

$$x = q \varphi',$$

где $q = \frac{4x_{\text{max}}}{\pi \varphi_{\text{max}}}$, φ_{max} – амплитуда координаты φ .

Коэффициент линеаризации q определен в соответствии с характеристикой идеального реле.

В соответствии со структурной схемой (рис. 3) передаточная функция линеаризованной системы демпфирования угловых колебаний будет иметь вид

$$W(p) = \frac{\varphi(p)}{f(p)} = \frac{\tau p + 1}{\tau p^3 + (1 + k_2 \tau) p^2 + (k_2 + k_1 \tau + q k_3) p + k_1}. \quad (6)$$

В нелинейной системе с релейным элементом возможны режимы с автоколебаниями. Анализ и оценка возможности возникновения автоколебаний [6] показали, что в данной системе автоколебания не возникают.

Определение вынужденных колебаний произведем для внешних воздействий вида

$$f(t) = B \sin \omega_b t,$$

где B и ω_b – амплитуда и частота внешнего воздействия.

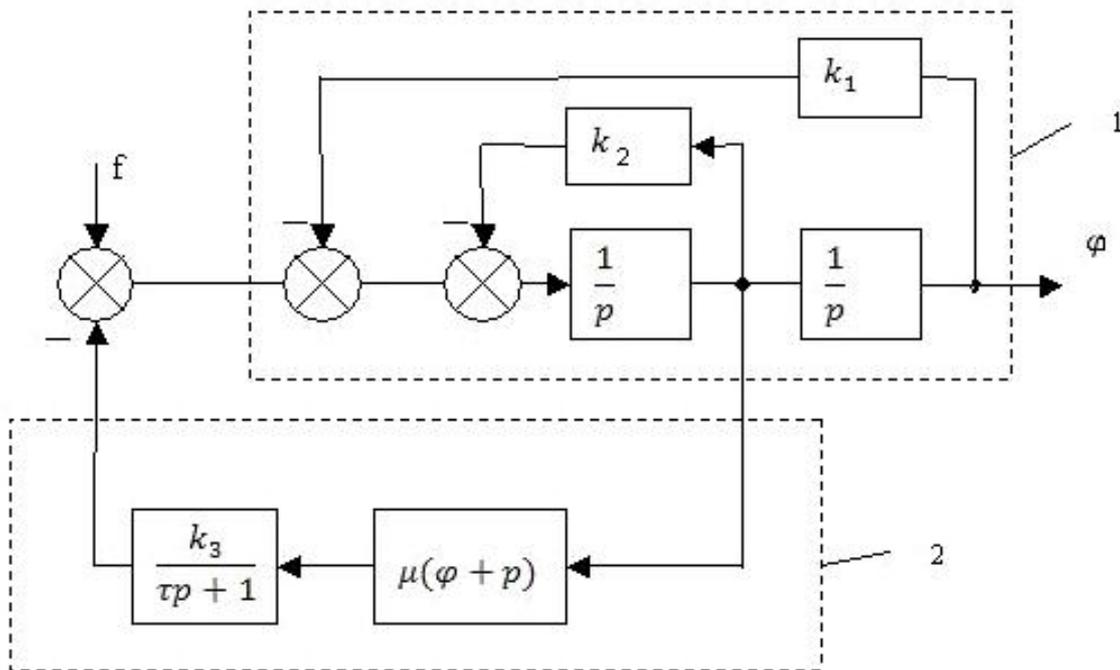


Рис. 3. Структурная схема колебательной системы: 1 – АО на упруго-демпфирующем подвесе; 2 – активная система демпфирования угловых колебаний

Вынужденные колебания АО представим в виде

$$\varphi = \varphi_m \sin(\omega_B t + \alpha).$$

Относительная оценка эффективности активной системы демпфирования при периодическом внешнем воздействии может быть произведена по коэффициенту η :

$$\eta = \frac{\varphi_{\max}^0}{\varphi_{\max}}, \text{ где } \varphi_{\max}^0 \text{ – амплитуда вынужденных колебаний при выключенной активной системе.}$$

Результаты расчета коэффициента η для следующих значений параметров показаны на рис. 4: $K_1 = 49 \text{ 1/c}^2$, $K_2 = 7 \text{ 1/c}$, $K_3 = 70 \text{ 1/c}^2$, $B = 100 \text{ 1/c}^2$, $x_m = 1$ и различных значениях постоянной времени τ .

Графическая зависимость $\eta = f(\omega_B)$ показывает, что наиболее эффективно активная система функционирует при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний (отметим, что для любых пассивных систем демпфирования этот случай – наиболее неблагоприятный вариант).

Анализ показал, что можно всегда подобрать такие величины параметров x_m, K_3 . Это соответствует выбору ПА с заданной грузоподъемностью, при которых будет достигаться минимальное значение коэффициента η . Необходимо подчеркнуть, что при сейсмоздействиях на АО колебания основания (грунта) происходят с частотой близкой к величине 1 Гц, что практически совпадает с собственной частотой АО.

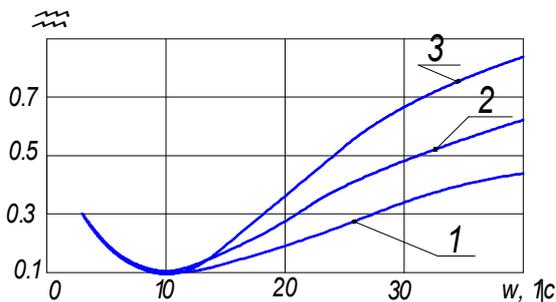


Рис. 4. Зависимости коэффициентов демпфирования от частоты: 1 – $\tau = 0,05$; 2 – $\tau = 0,1$; 3 – $\tau = 0,2$

С целью анализа влияния сейсмоздействий на угловые колебания АО с активной системой демпфирования решение системы нелинейных уравнений произведено с помощью прикладной программы MATLAB с расширением Simulink. Результаты расчета для различных значений x, K_3 и t приведены на рис. 5–6.

При сейсмоздействиях величина амплитуды колебания по углу φ может быть уменьшена по сравнению с АО без активной системы в три раза, а вторые и последующие амплитуды колебаний на порядок и более. При этом, чем меньше величина τ , тем эффективнее работа активной системы, а величина K_3 может быть выбрана для рассматриваемой системы в пределах $K_3 = 1,2 \dots 1,5$. Подобные величины K_3 соответствуют включению дополнительного ПА с грузоподъемностью $6 \times 10^4 \text{ Н}$ и рабочим ходом, равным рабочему ходу ПА штатной системы амортизации АО.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: активная система демпфирования угловых колебаний АО при гармонических воздействиях наиболее эффективна в

низкочастотной области и при малых коэффициентах демпфирования штатной подвески; при сейсмоздействиях непрерывно действующая активная система демпфирования снижает амплитуду первого колебания в несколько раз и последующих колебаний на порядок.

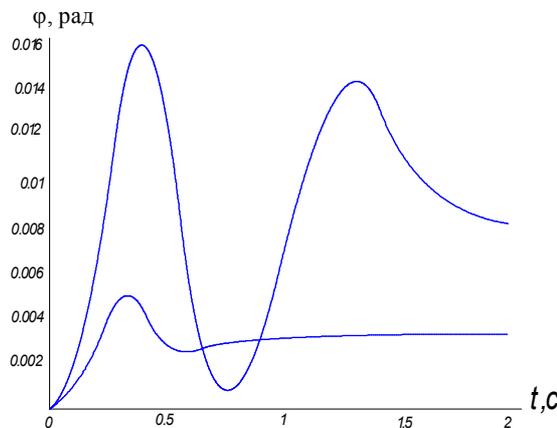


Рис. 5. Угловые колебания АО при сейсмоздействии: $w_0 = 7, K_3 = 0,7, \xi = 0,5, \tau = 0,1 \text{ с}$

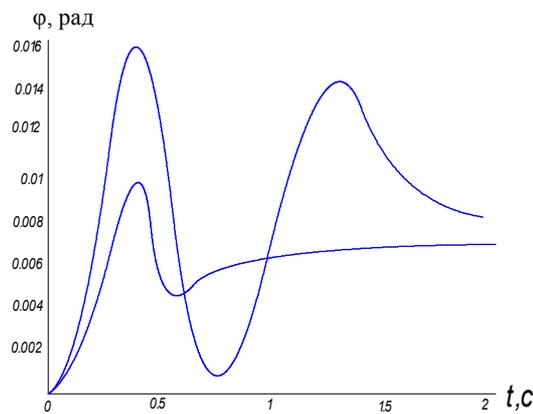


Рис. 6. Угловые колебания АО при сейсмоздействии: $w_0 = 7, K_3 = 0,7, \xi = 0,5, \tau = 0,2 \text{ с}$

Библиографический список

1. Хамитов, Р. Н. Угловые колебания амортизируемого объекта с пассивной системой демпфирования / Р. Н. Хамитов // Вестник СибГАУ. Вып. 1 (22): в 2 ч. Ч. 1. 2009. С. 97–99.
2. Пат. № 2335672 РФ, МПК F 16F 9/04. Амортизирующее устройство / Г. С. Аверьянов, Р. Н. Хамитов, А. В. Зубарев. Опубл. 10.10.2008, Бюл. № 28.
3. Пат. № 2304523 РФ, МПК B60G 15/12, F16F 9/05. Пневматическая подвеска / Г. С. Аверьянов, Р. Н. Хамитов, А. В. Нагорных. Опубл. 20.08.2007, Бюл. № 23.
4. Бурьян, Ю. А. Активная система демпфирования угловых колебаний многоосного автомобиля / Ю. А. Бурьян, В. И. Мещеряков, В. Н. Сорокин // Строительные и дорожные машины. 2002. № 9. С. 36–40.
5. Бежанов, Б. И. Пневматические механизмы / Б. И. Бежанов. М.: Машиностроение, 1957.
6. Попов, Е. П. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем / Е. П. Попов, И. П. Пальтов. М.: Физматгиз, 1960.

ANGULAR FLUCTUATIONS OF THE DAMPED OBJECT WITH ACTIVE DAMPING SYSTEM

Angular movements of the damped object with active damping system on controlled pneumoshock absorbers are investigated. The approximate solutions for non-stationary seismic influence are considered and the results of numerical modeling of transients by means of applied program Matlab are given.

Keywords: angular movements, active damping system, pneumoshock absorber.

© Хамитов Р. Н., Коновалов В. Е., 2009

УДК 665.743.3

Н. Ф. Орловская, Д. А. Шупранов, Ю. Н. Безбородов, И. В. Надейкин

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ НА МОДЕЛЯХ

Исследован процесс жидкофазного окисления гексадекана, традиционной модели нефтяных углеводородов. Определен состав продуктов окисления с помощью газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ/МС).

Ключевые слова: высокотемпературное окисление, гексадекан, кислородсодержащие органические соединения, реактивные топлива.

Авиационный керосин служит в двигателях летательных аппаратов не только топливом, но также хладагентом. Поэтому он должен обладать высокой термоокислительной стабильностью.

В связи с этим представляет интерес исследование процессов, протекающих при высокотемпературном жидкофазном окислении реактивных топлив.

Традиционная модель нефтяных углеводородов – гексадекан (ГД).

Поведение гексадекана при жидкофазном окислении исследовалось различными авторами при разных способах термостатирования реактора [1].

Термин «высокотемпературное окисление» обычно применяется для процессов, протекающих при температурах 150...170 °С в случае окисления гексадекана.

Предыдущими исследователями [1] установлено, что окисление ГД при высоких температурах является экзотермичным процессом. В определенный момент окисление протекает по механизму теплового взрыва, ограниченного во времени. После завершения экзотермичной стадии окисление продолжается с меньшей скоростью. По предположению авторов исследования [2], это происходит вследствие формирования полярной наноразмерной фазы (типа обращенной микроэмульсии) на основе первичных и вторичных продуктов окисления углеводорода.

Ядро таких обращенных мицеллярных агрегатов, по мнению авторов работы [2], содержит небольшое количество моно- и поликарбонновых кислот и полиспиртов, средняя оболочка включает преимущественно фрагменты простых и сложных эфиров, тогда как внешняя обо-

лочка состоит преимущественно из углеводородных радикалов, обеспечивающих стабилизацию в среде неполярного углеводорода (рис. 1).

Экспериментальное изучение изменения фазового состава окисляющихся углеводородов было проведено [2] косвенно, с использованием метода солюбилизации водорастворимых красителей, например, метилового оранжевого (MeOg). По изменению положения полосы MeOg при повышении степени окисления гексадекана авторы [2] предположили, что локализация молекул красителя в полярной нанофазе окисленного гексадекана соответствует умеренно полярному слою продуктов окисления, содержащему связи типа С–О–С или подобные им.

На стадиях глубокого окисления, когда механизм реакции становится особенно сложным, образуются основные продукты окисления и формируются физико-химические свойства системы, определяющие ее эксплуатационные характеристики.

Если образование полярной мицеллярной фазы в окисляющихся углеводородах действительно происходит, в процессе эксплуатации при высоких температурах углеводородные топлива могут формировать сложную коллоидную структуру, способную влиять на механизм протекающих процессов.

Эти рассуждения заставили нас подробно изучить динамику образования и качественный состав продуктов жидкофазного окисления гексадекана кислородом воздуха.

Высокотемпературное (150...170 °С) жидкофазное окисление гексадекана кислородом воздуха в реакторе барботажного типа проводили с отбором летучих про-

дуктов (конденсата) с использованием воздушного термостата. Это позволило исследовать начальные стадии процесса по изменению поглощения кислорода (ПК) реакционной массы и конденсата после 2, 4, 5, 6, 7, 8 ч окисления. Кроме того состав продуктов окисления в конденсате и реакционной массе определяли с помощью газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ/МС). Хромато-масс-спектрометр – газовый хроматограф Agilent 7890А с квадрупольным детектором Agilent 5975С.

Перманганатометрический метод оценки степени окисленности гексадекана. Величина $ПК_{25}$ (поглощение кислорода) соответствует количеству миллиграммов кислорода, поглощенному 2 мл и условно пересчитанному на 100 мл топлива при 25 °С и продолжительности реакции 30 мин [3].

В стеклянную коническую колбу на 250 мл с притертой пробкой вводили 25 мл 0,1 н. водного раствора перманганата калия ($KMnO_4$), 10 мл 20 %-го водного раствора серной кислоты и 2 мл испытуемого топлива. Колбу закрывали стеклянной пробкой и, не встряхивая, погружали на 30 мин в воду с температурой $25 \pm 0,5$ °С. По окончании установленного времени реакцию окисления обрывали, вводя в колбу раствор 2 г йодистого калия в 100 мл дистиллированной воды. Смесь встряхивали, а выделившийся йод оттитровывали 0,1 н. раствором тиосульфата натрия $Na_2S_2O_3$ в присутствии 1 мл 0,5 %-го раствора крахмала (индикатора). Количество использованного на титрование тиосульфата натрия эквивалентно количеству перманганата калия, не израсходованного после тридцатиминутного окисления топлива.

$$ПК_{25} = \frac{0,8 \cdot (a + b) \cdot 100}{2},$$

где 0,8 мг кислорода, выделяемого 1 мл 0,1 н. раствора $KMnO_4$ в кислой среде и поглощенного топливом; 2 мл топлива, введенного в реакцию; 100 мл топлива, на которые условно пересчитывают значение $ПК_{25}$; 25 мл 0,1 н. раствора $KMnO_4$, введенного в реакцию; б мл 0,1 н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование выделившегося йода.

Размерность $ПК_{25}$: мг O_2 / 100 мл топлива.

Метрологическая оценка способа показывает, что максимальное отклонение от среднего параллельного определения составляет $\pm 2,0$ % [3].

Далее производили расчет поглощения кислорода по имеющимся данным о количестве тиосульфата, пошедшего на титрование.

Все данные, полученные в процессе эксперимента, были сведены в табл. 1, 2, по которым были построены графики окисляемости реакционной массы и конденсата при высокотемпературном окислении гексадекана.

Окислительная стабильность гексадекана. Поглощение кислорода ($ПК_{25}$) определялось при высокотемпературном окислении гексадекана в реакционной массе и конденсате (рис. 2). Наибольшее значение $ПК_{25}$ реакционной массы наблюдалось после 7 ч окисления (при минимальном значении $ПК_{25}$ конденсата). Наибольшее значение $ПК_{25}$ конденсата наблюдалось после 2 ч окисления (при минимальном значении $ПК_{25}$ реакционной массы).

Как видно, количество кислородсодержащих соединений в реакторе с течением времени увеличивается, а в конденсате их содержание уменьшается. Возможно, это связано с тем, что в процессе термоокисления образуются вещества с большей молекулярной массой.

При окислении парафинов в конечных продуктах всегда обнаруживаются более сложные соединения, чем простые кислоты, кетоны, альдегиды, спирты или гидроперекиси.

Появление более окисленных продуктов (например, лактонов) не обязательно является следствием повторной атаки кислорода на уже содержащие кислород продукты. Подобные сложные продукты образуются и при минимальной глубине конверсии. Лактоны – это внутренние сложные эфиры оксикислот. При повышенных температурах оксикислоты легко дегидратируются. Среди продуктов окисления мы наблюдали образование как γ -, так и δ -лактонов.

В заключение отметим, что было исследовано высокотемпературное жидкофазное окисление кислородом воздуха гексадекана, как модели углеводородов реактивных топлив, с отбором проб конденсата и реакционной массы.

Перманганатометрическим методом оценивалась окисленность конденсата и реакционной массы гексадекана.

Состав продуктов окисления идентифицировался с помощью газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием.

Установлено, что содержание кислородсодержащих соединений в реакторе с течением времени окисления

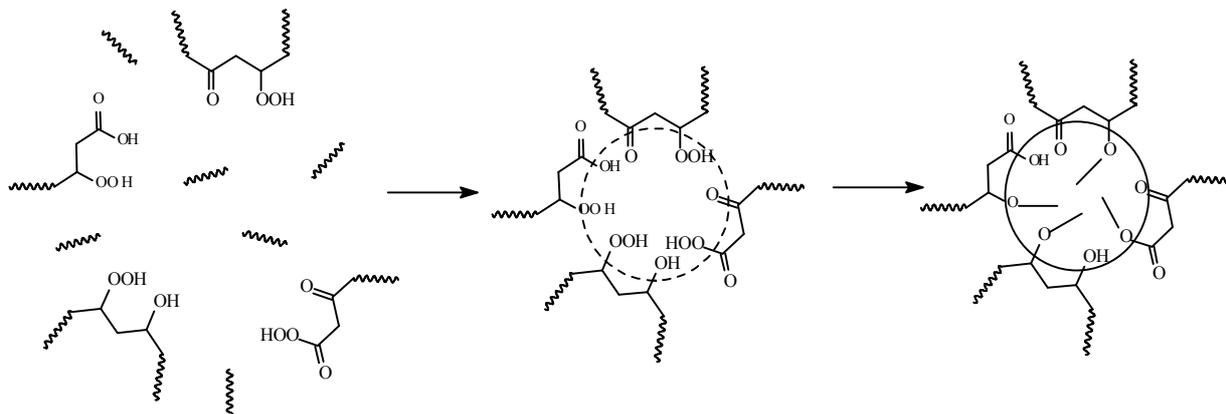


Рис. 1. Предположительная структура полярной наноразмерной гетерофазы в окисленных углеводородах [2]

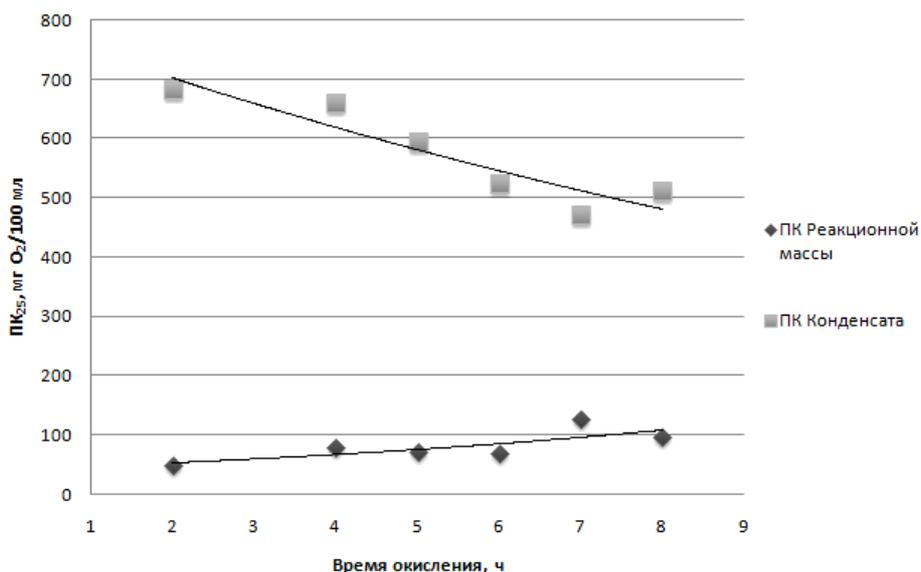


Рис. 2. Значения PK₂₅ реакционной массы и конденсата

Таблица 1

Результаты определения состава продуктов окисления ГД (реакционная масса)

№ п/п	Название	Содержание в оксидате, %
1	гептаналь	4,56
2	5-метил-2(3Н)-дигидрофуранон (лактон 4-оксипентановой кислоты)	2,20
3	гексановая кислота	2,88
4	2,6-дигидропиранон-2	1,05
5	5-этил-2(3Н)дигидрофуранон	1,50
6	гептановая кислота	4,84
7	4-пропилбутанолид-4 (лактон 4-оксигептановой кислоты)	2,49
8	октановая кислота	7,72
9	6-пропил-2Н-тетрагидропиран-2-он (лактон 5-оксоктановой кислоты)	3,30
10	лактон 4-оксинонановой кислоты	2,95
11	декановая кислота	13,17
12	лактон 4-оксидекановой кислоты (γ-декалактон)	15,05
13	2-ундеканон	1,59
14	додекановая кислота	8,15
15	тридекановая кислота	3,38
16	4-октилбутанолид-4 (γ-додекалактон)	3,00
17	тетрадекановая кислота	1,71
18	5-пентадеканон	4,99
19	2-нонадеканон	6,83
20	тридециловый эфир пентановой кислоты	2,34
21	6-додеканон	3,06

Таблица 2

Результаты определения состава продуктов окисления ГД (конденсат)

№ п/п	Название	Содержание в оксидате, %
1	декановая кислота	1,64
2	ундекановая кислота	2,19
3	додекановая кислота	3,65
4	5-гептил-2(3Н)-дигидрофуранон	5,36
5	тридекановая кислота	4,94
6	4-октилбутанолид-4 (γ-додекалактон)	3,99
7	тетрадекановая кислота	5,76
8	7-пентадеканон	6,40
9	4-гексадеканон	4,72
10	1-тридецин-4-ол	4,06
11	3-гексадеканон	4,62
12	2- гексадеканон	6,24
13	2-гептадеканол	2,18

увеличивается, а в конденсате их содержание уменьшается. Это может быть связано с тем, что в процессе термоокисления образуются вещества с большей молекулярной массой. Требуется дополнительные исследования для установления закономерностей.

Среди продуктов окисления гексадекана идентифицированы спирты, карбонильные соединения, карбоновые кислоты, сложные эфиры карбоновых кислот и лактоны (внутренние сложные эфиры γ - и δ -оксикислот). Подобные соединения могут входить в состав обращенных мицеллярных агрегатов, оказывающих влияние на физико-химические свойства и эксплуатационные характеристики реактивных топлив.

Библиографический список

1. Влияние условий жидкофазного высокотемпературного окисления гексадекана на механизм процесса / Э. Ю. Оганесова [и др.] // Нефтехимия. 2004. Т. 44, № 2. С. 119–126.
2. Условия формирования и свойства мицеллярной структуры продуктов окисления гексадекана, изученные методом солюбилизации красителя / Э. Ю. Оганесова [и др.] // Нефтехимия. 2005. Т. 45, № 4. С. 294–300.
3. А.с. 750373 СССР, МКИ³ G 01 N 33/22. Способ оценки окисляемости и степени окисленности моторных топлив и их компонентов / Я. Б. Чертков, Т. И. Кирсанова (СССР). № 2628862/23–04; заявл. 15.06.78; опубл. 23.07.80, Бюл. № 12.

N. F. Orlovskaya, D. A. Shupranov, Yu. N. Bezborodov, I. V. Nadeykin

MODEL-BASED STUDY OF OXIDATION PROCESSES IN A JET ENGINE FUEL LIQUID PHASE

The process of oxidation in the liquid phase of hexadecane, a conventional model of oil hydrocarbons, is investigated. The oxidation products components are defined by means of gas chromatography with mass-spectrometer detection.

Keywords: high-temperature oxidation, hexadecane, oxygen-containing organic compounds, jet fuel.

© Орловская Н. Ф., Шупранов Д. А., Безбородов Ю. Н., Надейкин И. В., 2009



Т. В. Зеленская, В. В. Прохоров

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В ФОРМЕ ОБЛИГАЦИОННОГО ЗАЙМА

Рассмотрены проблемы, связанные с оценкой объема корпоративного облигационного займа. Проведен обзор основных способов оценки объема корпоративного облигационного займа. Предложены способы финансирования инновационной деятельности предприятий оборонно-промышленного комплекса в форме облигационного займа, включая определение его основных параметров.

Ключевые слова: способы и формы финансирования, корпоративный облигационный заем.

Согласно принятой Правительством РФ Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. в стране предполагается формирование большого количества инновационно-активных предприятий, в том числе и в оборонно-промышленном комплексе (ОПК). Их доля к 2020 г. должна вырасти до 40–50 % (в 2007 г. их доля составляла 13 %). При этом удельный вес инновационной продукции в общем объеме промышленной продукции к 2020 г. должен увеличиться до 25–35 % (в 2007 г. их удельный вес составлял 5,5 %) [1].

Решение поставленных задач требует широкого применения различных способов и форм финансирования инновационной деятельности, в том числе и с использованием частного капитала. Одной из важнейших форм финансирования инновационной деятельности становятся корпоративные облигационные займы.

В целом любой публичный корпоративный облигационный заем характеризуется рядом показателей: объемом займа, выплачиваемым по нему доходом, сроком привлечения, периодом выплаты дохода, наличием или отсутствием встроенного опциона, наличием или отсутствием обеспечения или других дополнительных прав. Эти разновидности показателей в различных комбинациях дают новые виды облигаций. Существующая мировая практика показывает, что в настоящее время встречаются более 1 500 видов облигационных займов [2].

Основными показателями являются объем, доход, срок привлечения и период выплаты дохода. Два остальных показателя фактически являются вспомогательными и используются в связке с основными показателями. Так встроенный опцион «пут» или «колл» по сроку привлечения или увеличивает, или укорачивает срок привлечения займа. Опцион конвертации влияет на доходность облигации, так как предполагается обмен долга акционерного общества на долю в его уставном фонде. В свою очередь, наличие обеспечения, которое предоставляется предприятию третьими лицами в виде залога, гарантий или поручительства, напрямую влияет на объем займа и его доходность.

При принятии управленческого решения об использовании предприятием облигационного механизма для финансирования инновационной деятельности возникает проблема, связанная с оценкой того, на каких условиях

он может быть привлечен. Это влияет на выбор способа финансирования инновационной деятельности, который осуществляется в форме облигационного займа. Одним из важных показателей, влияющих на выбор способа финансирования инновационной деятельности в форме облигационного займа, является его объем.

При оценке возможного объема облигационного займа предприятия можно использовать несколько групп методов. *Первая* группа является фактически нормативной. Оценка объема выпуска облигационного займа определяется или размером уставного капитала, или величиной обеспечения, предоставленного в этих целях обществу третьими лицами (залогом, гарантиями, поручительством). *Вторая* группа определяет объем заимствования на основе учета совокупного имущества хозяйствующего субъекта. Имеющееся у предприятия имущество фактически является своего рода гарантией обеспечения возврата заемного капитала кредиторам. *Третья* группа учитывает денежные потоки предприятия. Они, как и имущество, являются своего рода гарантией возврата заемного капитала. *Четвертая* группа представлена аналоговыми методами, которые используют мультипликаторы, учитывающие имущественное положение и денежные потоки двух предприятий. При этом одно из них является предприятием, которое планирует привлечь заемный капитал, а другое выступает предприятием-аналогом, которое уже такой заемный капитал привлекало. Здесь фактически на основе сопоставления рассчитывается объем заемного капитала. *Пятая* группа обосновывает объем облигационного займа на основании стоимости инвестиционного проекта, который планируется реализовать в рамках конкретного предприятия. Данное обоснование фактически является рекомендацией, ниже которой размер заемного капитала не должен опускаться. *Шестая* группа методов учитывает операционный и финансовый леверидж. Их предельный размер и является своего рода ограничением по выпуску облигационного займа.

С целью изучения практики оценки возможного объема публичного облигационного займа предприятия были проанализированы выпуски займов по шести отраслям промышленности за 2005–2007 гг. Выбор отраслей был обусловлен тем, что они являются лидерами в Российской Федерации по использованию облигационной фор-

мы финансирования как по объему привлеченных денежных средств, так и по количеству их выпусков. В целом анализировалось 185 облигационных займов предприятий машиностроения, электроэнергетики, черной металлургии, транспорта, связи и телекоммуникации, пищевой промышленности.

В процессе анализа выяснилось, что на рынке облигационных заимствований присутствуют две принципиально различные группы заемщиков, которые требуют различных подходов при оценке объема облигационного займа. *Первая группа* состоит из предприятий, являющихся прямыми заемщиками. Они привлекают публичный заемный капитал непосредственно для своих нужд. Предприятия ОПК относились только к первой группе. *Вторая группа* состоит из предприятий, являющихся квазизаемщиками. Это дочерние структуры, которые были посредниками между кредиторами и непосредственно материнской организацией. Их главной задачей было привлечение заемного капитала, и операционной деятельностью они практически не занимались. По анализируемым отраслям промышленности в разные годы доля квазизаемщиков составляла от 11 до 25 % от общего количества заемщиков.

При анализе методов оценки объема облигационного займа выяснилось, что российские промышленные предприятия на практике используют три группы методов: методы, учитывающие совокупное имущество предприятия, методы, учитывающие денежные потоки предприятия, и нормативные методы. При этом необходимо отметить то, что методы, учитывающие совокупное имущество и денежные потоки предприятия, при прогнозировании использовали только прямые заемщики. Нормативные методы использовали только квазизаемщики и частично прямые заемщики. В целом на методы, учитывающие совокупное имущество, приходилось от 16 до 29 % от общего количества применяемых методов. На методы, учитывающие денежные потоки, – от 39 до 47 %, а на нормативные методы – от 25 до 34 %.

Наиболее эффективными с точки зрения точности оценки объема корпоративного облигационного займа являются нормативные методы, так как объем выданных предприятию различного рода гарантий и является тем показателем, который определяет объем облигационного займа. Остальные методы оценки дают значительно меньшую точность. Это, в первую очередь, связано с точностью оценки имущества и денежных потоков предприятий.

Имущество предприятия на практике, как правило, оценивается кредиторами в качестве залога со значительным дисконтом. При этом размер дисконта для каждого кредитора индивидуален. В результате этого в значительной степени на предприятии занижается залоговая стоимость имущества, что сказывается на потенциальных заемных возможностях предприятия. В свою очередь объемы денежных потоков предприятий кредиторы учитывают на основе предшествующих периодов с последующей их экстраполяцией на будущий период. В результате, если выручка у предприятия в предшествующие периоды была невысокой, то и потенциальные возможности по привлечению им заемного капитала также будут

невысокими. При этом еще существует вероятность того, что и сам прогноз по ряду причин, в том числе и независящих от предприятия, может не сбыться.

Это подтверждает и приведенный анализ отраслей промышленности. При использовании методов оценки на основе учета совокупного имущества предприятия среди прямых заемщиков в 42 % выпусках облигационных займов они не были обеспеченными имуществом. При использовании методов оценки на основе учета денежных потоков такая же ситуация среди прямых заемщиков встречалась в 48 % случаях.

Относительно стабильными годами для Российской Федерации были 2005–2007 гг. В стране наблюдался рост валового внутреннего продукта, и на отечественном финансовом рынке имелся избыток денежных средств, поэтому необеспеченные займы размещались без особых проблем. В условиях же экономического кризиса данные корпоративные облигационные займы в заявленных объемах не смогли бы разместиться на российском финансовом рынке. Кроме того, в 2008–2009 гг. наблюдались дефолты именно по необеспеченным облигационным займам.

Поэтому сегодня важной становится задача, с одной стороны, объективно оценить заемные возможности предприятия с точки зрения выпуска облигационного займа. С другой стороны, не допустить ошибочного управленческого решения об использовании корпоративных облигационных займов для финансирования инновационной деятельности. Именно это и явилось причиной для разработки новой методики оценки потенциального объема публичного корпоративного облигационного займа.

В основе предложенной методики оценки объема публичного корпоративного облигационного займа лежит совместное применение двух наиболее часто используемых методов оценки: метода, учитывающего совокупное имущество предприятия, и метода, учитывающего его денежные потоки. Необходимо отметить то, что в основе обоих методов прогнозирования лежит один и тот же принцип. Он заключается в определенных гарантиях кредитора по возврату предоставленных ими заемных средств.

В предложенной методике оценки объема публичного корпоративного облигационного займа нивелируются существующие недостатки вышеуказанных методов оценки. Она учитывает на предприятии в совокупности активы предприятия (с поправочными коэффициентами) и среднегодовую выручку предприятия за несколько лет. При этом полученные значения в дальнейшем уточняются с учетом ценностей, находящихся на забалансовых счетах предприятия. В дальнейшем на основе окончательно полученных данных и проводится оценка объема корпоративного облигационного займа, который можно привлечь на рыночных условиях. В целом разносторонний учет обеспечительного имущественного потенциала предприятия позволяет повысить точность оценки объема корпоративного облигационного займа, который может быть привлечен им на рыночных условиях.

Для использования предложенной методики оценки необходима определенная информационная база. Основой такой информационной базы являются две группы информационных источников, в том числе бухгалтерс-

кая отчетность предприятия и внеучетные данные по предприятию (см. рисунок). Данные информационные источники позволяют полностью обеспечить необходимыми исходными данными для проведения оценки на основе совместного учета совокупного имущества предприятия и его денежных потоков.

Для доказательства эффективности предложенной методики оценки было проведено ее тестирование. Само тестирование включало в себя два этапа. На *первом этапе* прогнозировался объем публичного корпоративного облигационного займа на основе предложенной методики. На *втором этапе* проводилось сравнение полученных оценочных значений объема публичного корпоративного облигационного займа с фактическими значениями объема по анализируемым предприятиям шести отраслей экономики, которые выпустили в 2005–2007 гг. собственные облигационные займы. На этой основе определялось, имелся ли дефицит или резерв возможностей по объему публичного корпоративного облигационного займа, привлекаемого на рыночных условиях.

В результате сравнений были сделаны следующие выводы. Во-первых, при оценке объема корпоративного займа по предложенной методике обеспечение по возврату денежных средств кредиторам составило от 69 до

86 % облигационных выпусков. На предприятиях ОПК данный показатель был значительно выше и достигал 95 %. Во-вторых, качество обеспечения за счет совокупного имущества и денежных потоков в 85–93 % случаев позволяло бы привлечь предприятию дополнительно денежные средства свыше 100 % от фактически привлеченных. На предприятиях ОПК данный показатель составил 98 %.

В целом предложенная методика оценки объема корпоративного облигационного займа позволяет предприятию ОПК более точно оценивать свои заемные возможности. Это, в свою очередь, влияет на принятие правильного управленческого решения по выбору способов финансирования инновационной деятельности предприятий ОПК в форме облигационного займа.

Библиографический список

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года : утв. распоряжением Правительства РФ № 1662-р от 17 ноября 2008 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.government.ru. Загл. с экрана.
2. Краев, А. О. Рынок долговых ценных бумаг / А. О. Краев, И. Н. Коньков, П. Ю. Малеев. М. : Экзамен, 2002.



Структура информационной базы для прогнозирования объема ПЗК на основе совместного учета совокупного имущества предприятия и его денежных потоков

T. V. Zelenskaya, V. V. Prokhorov

IMPROVING FINANCING METHODS FOR INNOVATIVE ACTIVITIES IN THE MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX ENTERPRISES IN THE FORM OF BONDED DEBTS

In the article we have depicted the problems of estimating the volume of corporate bonded debts. We have made a review of basic estimation methods for the amount of corporate bonded debts. We offered methods for financing innovative activities in the military-industrial complex in the form of a bonded debt, including the determination of its basic parameters.

Keywords: methods and forms of financing, corporate bonded debt.

© Зеленская Т. В., Прохоров В. В., 2009

УДК 330.332.54

О. В. Гостева

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Выявлены основные проблемы и направления совершенствования работы по оценке исполнения проектов на предприятиях ракетно-космической отрасли как по результату, так и по эффективности управления проектами.

Ключевые слова: управление проектом на предприятиях ракетно-космической отрасли, интегральная оценка исполнения проекта.

Предприятия ракетно-космической отрасли (РКО) являются высокотехнологичными и наукоемкими. Отличительные особенности их деятельности – постоянное внедрение инноваций и большие затраты на научные исследования. Усиление конкурентной борьбы в мировой аэрокосмической отрасли, сложившаяся в России экономическая ситуация и сокращение жизненного цикла продукта заставляют сегодня руководство предприятий задуматься не только о технической и технологической стороне деятельности, но и уделять особое внимание применяемым методам управления, повышать требования к процессам планирования и контроля.

Одним из методов, позволяющих влиять на эффективность как технологии изготовления продукта, так и технологии управления, является управление проектами. Применение данного метода требует значительных изменений в управлении предприятием, внедрения стандартов управления, регламентов работ, более точного планирования, четкой постановки границ проекта и т. д. Для повышения качества управления проектами необходимо проводить оценку исполнения проектов с учетом специфики предприятий. Автором предложена оригинальная методика оценки исполнения проекта на предприятиях ракетно-космической отрасли.

Методика позволяет оценить исполнение проекта по следующим важнейшим направлениям: получение результата на каждой фазе жизненного цикла проекта (ЖЦП); управление проектом на всех фазах проекта; соотношение эффективности управления на каждой фазе с полученным результатом; учет влияния контекстных ог-

раничений на исполнение проекта; анализ достижения отсроченных эффектов проекта. А в случае возникновения отклонений от плановых значений показателей по результату и управлению проектом, методика позволяет выявить причины отклонений с помощью анализа факторов, влияющих на исполнение проекта на каждой фазе ЖЦП, и соотнесения этих факторов по степени и зоне ответственности команды проекта.

Для учета инновационных процессов при исполнении проекта введено понятие контекстных ограничений. Контекстные ограничения – это факторы, оказывающие влияние на среду исполнения проекта, сложность задачи, ценность результата, сопротивление среды. Чем сложнее бизнес-проблема, тем больше ценности содержит ее потенциальное решение, но тем меньшее число людей способны понять это, не оказывая сопротивления новаторской идее.

Для оценки управления проектом на фазе концепции используется понятие отсроченного эффекта, т. е. то изменение среды, которое наступит, если команда проекта достигнет своих целей. Эффект может проявиться не сразу или вообще не наступит по независящим от команды причинам. Конечной целью заказчика являются эффекты, а не команды, поэтому в проекте нецелесообразно подменять данные понятия.

Проверка теоретической и практической значимости предложенной методики оценки исполнения проекта проводилась на примере проектов одного из предприятий ракетно-космической отрасли Красноярского края.

Для проведения оценки исполнения проекта по результату и управлению были определены три проекта

(табл. 1). Рассматриваемые проекты являются близкими по параметрам и требованиям, и их сравнение, проведенное на базе предлагаемой методики, помогает выявить типовые ошибки как в технологии создания продукта, так и в технологии управления проектами. Это позволит руководству принять обоснованные управленческие решения и повысить эффективность предприятия в целом.

Главной особенностью процессов предприятий ракетно-космической отрасли является стандартная структура и стандартные ограничения. Именно стандартные ограничения по времени, стоимости и качеству продукта проекта используются для построения обобщенного показателя отклонений по результату проекта через оценку возникающих отклонений:

$$O_p = K_1 \cdot O_b + K_2 \cdot O_c + K_3 \cdot O_k / (K_1 + K_2 + K_3),$$

где K_1, K_2, K_3 – коэффициенты, которые выбираются исходя из того, насколько критичным является для бизнеса компании тот или иной вид отклонений; O_b – отклонение по времени; O_c – отклонение по стоимости (бюджету); O_k – отклонение по качеству.

Показатели O_b, O_c, O_k рассчитываются на основании специальных шкал, позволяющих классифицировать отклонения с точки зрения тяжести их последствий (шкалы определяются на основе корпоративного стандарта).

В соответствии с данной формулой определяется результат на каждой из фаз ЖЦП и соотносится с управлением проекта на данной фазе (табл. 2).

В зависимости от полученных значений можно интерпретировать результаты проекта (табл. 3).

Интерпретация оценки не является жесткой, а служит ориентиром для команды проекта.

Была проведена оценка результата по каждой фазе ЖЦП для каждого из проектов (табл. 4).

Проект 2 имеет наиболее высокие показатели по результату на всех фазах ЖЦП, а проект 3 – наиболее низкие. Так как проекты являются типовыми, необходимо выяснить причины такого серьезного расхождения полученных результатов. Для этого была проведена оценка управления данных проектов. Процесс оценки управления проектом представлен на примере проекта 1.

Для оценки управления проектом выделены специальные показатели (табл. 5). По полученным значениям был проведен анализ взаимозависимости и взаимосвязи показателей в рамках данного проекта. Применение данной методики ограничено наличием следующих условий: качеством определения показателей управления; сложностью определения контекстных ограничений проекта; наличием большого количества экспертных оценок (требуются разнопрофильные эксперты высокой квалификации). Основные результаты по эффективности управления проектом приведены в табл. 5.

Несмотря на то, что на фазе планирования и реализации проекта команда работала хорошо (70 %), общий результат оказался значительно ниже ожидаемого (56 %), и эффективность управления проектом соответствует только среднему уровню. Причиной этого стала достаточно низкая эффективность работы команды на фазе концепции, являющейся базовой для проекта в целом (50 %). Именно она явилась причиной низкой эффективности работы

Таблица 1

Основные сведения об оцениваемых проектах

Характеристика	Проект 1	Проект 2	Проект 3
Цель проекта	Создание автоматизированной системы 1	Создание автоматизированной системы 2	Создание автоматизированной системы 3
Продолжительность проекта, мес.	12	9	14
Бюджет проекта, тыс. р.	87 100	112 875	103 200
Требования по качеству	ISO 9000	ISO 9000	ISO 9000
Трудоемкость, человекочас	52 800	51 750	62 200
Примерная численность команды, чел.	27	35	32
Планируемая прибыль, тыс. р.	18 225	23 600	21 600
Заказчик	Внешний	Внешний	Внешний
Время наступления отсроченных эффектов, мес.	11	14	8
Влияние контекстных ограничений	Среднее	Среднее	Среднее

Таблица 2

Оценка проекта по результату

Критерии оценки проекта	Методы оценки
Степень отклонения от базовых сроков проекта (O_c)	Фактическая продолжительность проекта, % / плановая продолжительность, % · 100 %
Степень отклонения от утвержденного бюджета (O_b)	ФСВР / ПСПР · 100 %
Соблюдение положений и требований стандарта качества (O_k)	Число нарушений / общее число исходов · 100 %
K_1, K_2, K_3	1
Итоговая оценка по результату	$O = K_1 \cdot O_b + K_2 \cdot O_c + K_3 \cdot O_k / 3 (K_1 + K_2 + K_3)$

команды на остальных фазах, привела к низким показателям работы на фазе реализации и на фазе завершения проекта. Низкая эффективность управления не позволила проекту достичь запланированных эффектов, что повлияло на удовлетворенность клиента, стратегические планы предприятия и сделало проект не выгодным для него.

Рассмотренный пример подчеркивает важность работы команды на фазе концепции. Особенностью данной фазы является невозможность в полной мере оценить эффективность работы команды до окончания проекта и достижения отсроченных эффектов, что значительно повышает требования к специалистам, работающим на данной фазе, и указывает на необходимость проведе-

ния оценки исполнения проекта как по результату, так и по эффективности управления.

При анализе работы предприятия в области управления проектами интегральная оценка исполнения проекта позволяет оценить как один, так и несколько проектов, сравнить проекты между собой, прежде всего, близкие по требованиям и ограничениям. Для сравнения проектов, имеющих различные уровни сложности и масштаба, вводится коэффициент сложности и коэффициент масштабности. Пример сравнения близких проектов на предприятии РКО представлен в табл. 6.

При сравнении и анализе проектов на предприятии сделаны следующие выводы:

Таблица 3

Интерпретация значений оценки проекта по результату

Диапазон значений оценки, %	Интерпретация оценки	Примечания
0–30	Неудовлетворительно	–
31–50	Удовлетворительно	–
51–70	Хорошо	–
71–100	Отлично	–

Таблица 4

Оценка результата проектов по фазам

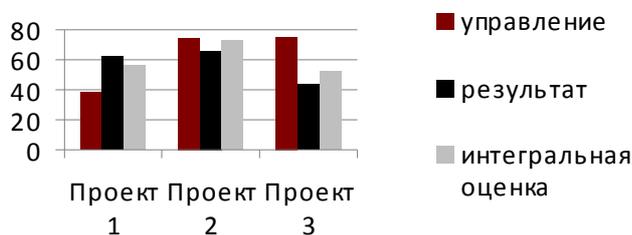
Фазы	Результат проекта, %		
	Проект 1	Проект 2	Проект 3
Фаза концепции	58	79	32
Фаза планирования	72	68	34
Фаза реализации	64	42	58
Фаза завершения	36	71	48
Проект в целом	56	72	43

Таблица 5

Результаты расчета эффективности управления проектом

Фаза ЖЦП	Компетенции	Наименование показателя оценки	Плановый, %	Фактический, %	Обобщающий
Фаза концепции	Рольевые	Корректность целей проекта Актуальность целей Четкость границ проекта	100	74	53
	Профессиональные	Процент (планируемый) наступления целевых изменений среды проекта (эффектов)	100	32	
Фаза планирования	Рольевые	Качество планирования	100	81	56
	Профессиональные	Процент ошибок планирования (кол-во незапланированных, но технологически необходимых работ)	0	34	
	Коммуникативные	Качество регламентов	100	52	
Фаза реализации	Рольевые	Процент отклонений от регламента	0	38	74
	Профессиональные	Степень отклонений по бюджету, срокам и качеству	0	25	
	Коммуникативные	Процент нелегализованных отклонений	0	31	
Фаза завершения	Рольевые	Качество договоров по закрытию проекта	100	82	63
	Профессиональные	Процент претензий к договорам	0	43	
	Коммуникативные	Качество архива	100	48	
После реализации проекта	Профессиональные	Процент (фактический) наступления целевых изменений среды проекта (отсроченных эффектов)	100	32	32
Влияние контекстных ограничений		Сложность проблемы	0	74	62
		Ценность результата (для коммерческих проектов)	100	82	
		Соппротивление среды	0	36	
Количество корректировок работы команды проекта		–	0	3	3
Эффективность работы команды		–	100	52	52

– во-первых, значение показателей по результату (сроки, бюджет, качество) и по управлению (достижение поставленных целей) на всех фазах ЖЦП не совпадает, что доказывает необходимость учета обоих критериев для полноценного анализа и оценки проекта (см. рисунок);



Сравнение исполнения проекта на базе интегральной оценки

– во-вторых, высокие показатели по результату не гарантируют достижение отсроченных эффектов и удовлетворенность заказчика (проект 1), минимизируя эффективность проекта в целом;

– в-третьих, высокие значения показателей по управлению проектом могут минимизировать отрицательное

влияние низкой результативности, что по сути является форс-мажором (проект 3);

– в-четвертых, наиболее эффективно для предприятия иметь высокие показатели как по результату, так и по управлению проектом (проект 2); это позволяет справиться с контекстными ограничениями, достичь высокого процента отсроченных эффектов и удовлетворенности заказчика.

Опыт работы проекта 2, зафиксированный в архивах на фазе завершения, необходимо транслировать на деятельность других проектов и команд, особенно при исполнении типовых проектов, на базе которых и проводится сравнительный анализ.

Таким образом, использование разработанной методики интегральной оценки исполнения проекта позволяет проводить многоаспектный анализ исполнения проекта с учетом специфики предприятий РКО. Интегральная оценка проводится как в отношении результата проекта, так и в отношении управления проектом, что позволяет значительно расширить возможности проектного подхода на предприятиях ракетно-космической отрасли.

Таблица 6

Сравнение исполнения проектов по эффективности управления и результату

Фазы	Проект 1		Проект 2		Проект 3	
	Результат, %	Управление, %	Результат, %	Управление, %	Результат, %	Управление, %
Фаза концепции	79	40	65	67	68	72
Фаза планирования	68	37	71	78	32	78
Фаза реализации	42	45	67	72	35	65
Фаза завершения	71	32	58	64	43	67
Влияние контекстных ограничений	1	30	1,5	45	2	28
Процент достижения отсроченных эффектов	23		53		35	
Проект в целом	72	38	66	74	44	75
Интегральная оценка	55		72		52	

O. V. Gosteva

INTEGRATED EXECUTION ESTIMATION OF PROJECTS AT THE ENTERPRISES IN THE SPACE-ROCKET BRANCH

In this article the basic problems and directions for perfecting the work are revealed according to the project execution in the space-rocket branch enterprises, both for result and for project management efficiency.

Keywords: project management in space-rocket branch enterprises, integrated project execution estimation.

© Гостева О. В., 2009

Д. Г. Округин, Г. Ф. Яричина

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫМИ РИСКАМИ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ (С ПРИМЕНЕНИЕМ АВИАЦИОННОГО И КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА)

Обоснованы методы идентификации и оценки пожарных рисков для населенных пунктов и объектов в лесу. Проанализированы экономические механизмы снижения лесопожарных рисков с учетом природно-климатических и экономических условий территории. Описаны принципы и порядок оценки лесопожарных рисков, раскрыты опасности возникновения, позднего обнаружения, развития и безуспешного тушения лесных пожаров, объяснены ключевые факторы обеспечения пожарной безопасности населенных пунктов и объектов в лесу. Приведена экономико-математическая модель управления лесопожарными рисками с использованием критерия минимальности суммарных убытков от лесных пожаров.

Ключевые слова: экономические механизмы, риск, чрезвычайная ситуация, ущерб, пожар.

В настоящее время проблема предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) по-прежнему актуальна и требует глубокого социально-экономического анализа. Наносимый обществу и экономике ущерб вследствие возникновения аварий и катастроф чрезвычайно велик, поэтому необходим поиск различных путей его снижения. Значительный прогресс в этом направлении достигнут в организационно-правовой и технической сферах. К сожалению, система социально-экономического регулирования безопасности в техногенной и природной сферах разработана недостаточно, есть лишь отдельные элементы такой системы, которая определяется существующей нормативной базой.

В обществе сформировалось понимание решающей роли безопасности как базовой составляющей сохранения цивилизации, обеспечения безопасности жизнедеятельности в рамках устойчивого развития [1]. В связи с этим возникает проблема выбора стратегии социально-экономического развития, важнейшей частью которой является определение различных рисков. Среди множества рисков особую роль играют пожарные риски, характеризующиеся более высокой вероятностью возникновения и присущие практически каждому объекту, территории, населенному пункту.

Достижение высокой эффективности в области предупреждения и снижения последствий ЧС природного и техногенного характера возможно при оптимизации инвестиций в систему мероприятий по снижению соответствующих рисков. Другими словами, возникает проблема управления рисками, заключающаяся в оптимизации соотношения между затратами на предупреждение и снижение отрицательных последствий ЧС и величиной ожидаемого ущерба. Задача состоит в том, чтобы определить оправданные с точки зрения общества расходы на обеспечение безопасности, с одной стороны, а с другой стороны, рационально их распределить по различным направлениям деятельности.

Другим аспектом проблемы повышения эффективности мероприятий по предупреждению ЧС является оценка наносимого ущерба. Во многих случаях учитывается только прямой экономический ущерб, в то же время не оценивается или оценивается в неполной мере социальный, экологический и другие виды ущерба. Уч-

итывая, что при решении вопроса о целесообразности затрат на те или иные мероприятия сопоставляются затраты и величина предотвращенного ущерба, ясно, что недооценка различных составляющих как прямого, так и косвенного ущерба ведет к ошибочным выводам в отношении эффективности рассматриваемых мероприятий.

В действующей законодательной и нормативной базе Российской Федерации практически отсутствуют проработанные экономические механизмы, направленные на стимулирование проведения мероприятий по снижению рисков и смягчению последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий. Слабая нормативная обеспеченность экономического регулирования в области предупреждения и ликвидации ЧС характерна для всех уровней управления. Недооценка роли деятельности по предупреждению ЧС фактически привела к финансированию усилий по их ликвидации, как правило, из резервных государственных фондов. Кроме того, государством предоставляются субсидии предприятиям без учета рисков их деятельности, отсутствуют реальные требования к обновлению средств производства и технологий с меньшим уровнем риска. Важно отметить, что сложившаяся ситуация в сфере управления ЧС приводит к продолжению и расширению выпуска продукции на опасных производствах с морально устаревшими технологиями и физически изношенным оборудованием.

В России объемы государственного финансирования деятельности по предупреждению ЧС недостаточны, и необходимо привлечение негосударственных средств, поэтому большое значение приобретают экономические и финансовые механизмы управления в данной области. Финансирование указанных мероприятий на предприятиях производится в основном по остаточному принципу, в ограниченных объемах. Одной из причин такого положения является то обстоятельство, что правильно не определяется приоритетность осуществления тех или иных мероприятий по снижению риска возникновения ЧС, а это существенно снижает эффективность использования финансовых средств. Следует отметить также, что катастрофические природные явления все чаще возникают в результате принятия необоснованных решений, без соответствующей информационной поддержки.

Техногенные аварии и природные катастрофы нередко сопровождаются пожарами, которые и сами по себе представляют большую опасность для населения, социальных, хозяйственных и природных объектов. Поскольку частота возникновения техногенных и природных пожаров значительно выше по сравнению с другими видами ЧС, вопросы пожарной безопасности имеют особое социально-экономическое значение.

Под экономическим механизмом понимаются различные мероприятия, влияющие на хозяйственную деятельность предприятий, организаций, территориальных образований в целом.

В связи с этим, в работе рассматривается проблема использования экономических механизмов для снижения рисков ЧС на примере лесных пожаров, угрожающих населенным пунктам на территории административных образований, и в дальнейшем будут рассматриваться лесопожарные риски. Это связано с тем, что лесные пожары часто являются причиной ЧС в населенных пунктах, при этом гибнут люди, уничтожаются жилые и административные здания, хозяйственные объекты.

Проанализируем более детально проблему идентификации, определения и управления лесопожарными рисками, а также возможности использования экономических механизмов для их снижения. Под *экономическим лесопожарным риском* понимается произведение вероятности возникновения пожара в течение года на ожидаемое среднее значение материального ущерба. Таким образом, риск для различных объектов – это мера опасности, сочетающая в себе вероятность неблагоприятного события и величину ущерба от него. Управление лесопожарным риском осуществляется опосредованно через системы предотвращения пожара и системы противопожарной защиты как объектов управления. В данном случае рассматриваются экономические механизмы как методы снижения лесопожарных рисков.

К экономическим механизмам, которые могут применяться для снижения лесопожарных рисков, целесообразно отнести следующие:

1. Механизмы экономической ответственности, включающие систему нормативов на проведение лесопожарных работ, оснащение предприятий и организаций противопожарным оборудованием и др. Несоблюдение данных нормативов влечет за собой штрафные санкции. Применяются также механизмы возмещения ущерба, если установлен виновник пожара.

2. Механизмы перераспределения риска, представленные различными видами страхования (обязательное, добровольное). Этот вид экономических механизмов практически не применяется в рассматриваемой области из-за отсутствия экономического обоснования и нормативной базы.

3. Механизмы формирования и использования бюджетных и внебюджетных фондов. Финансирование системы охраны осуществляется в основном без учета региональных природно-климатических и экономических условий, т. е. фактически без учета лесопожарных рисков. Внебюджетные фонды практически отсутствуют.

4. Механизмы стимулирования снижения лесопожарных рисков (повышения уровня безопасности) в виде

льготного налогообложения, льготного кредитования в системе охраны лесов также не применяются. Это связано с отсутствием критериев степени снижения лесопожарных рисков в зависимости от планируемых мероприятий.

5. Механизмы резервирования на случай чрезвычайных пожарных ситуаций, включающие образование резервов и материальных ресурсов, достаточно широко применяются в системе охраны лесов. В период подготовки к пожароопасному сезону на предприятиях создаются резервные пожарные формирования, оснащенные необходимым оборудованием, запасами ГСМ. Данный механизм направлен не на предупреждение лесных пожаров, а на смягчение их последствий (на уменьшение ущерба) посредством их своевременной ликвидации на меньшей площади и снижения угрозы их перехода на населенные пункты.

Для эффективного использования рассмотренных экономических механизмов необходимо прежде всего решение задач идентификации и определения лесопожарных рисков, установления их зависимости от различных противопожарных мероприятий с учетом конкретных природно-климатических и экономических условий, а также влияния финансовых затрат на выполнение противопожарных мероприятий на величину ожидаемого ущерба от пожаров.

Ежегодно на территории Российской Федерации возникает от 10 до 40 тыс. лесных пожаров, значительная часть из которых представляет реальную угрозу населенным пунктам. Эта угроза особенно возрастает в периоды длительной засухи, сопровождающейся сильными ветрами. Положение осложняется горным рельефом, высокой природной пожарной опасностью лесного фонда.

Администрации субъектов Российской Федерации предпринимают попытки решения этой проблемы путем проведения противопожарных работ на прилегающей к населенным пунктам лесной и безлесной территории. Однако практические методы оценки пожарной опасности, ранжирования населенных пунктов по вероятности воздействия на них опасных факторов лесного пожара до настоящего времени не разработаны. Имеющиеся научные разработки в этой области основаны на математическом моделировании, расчеты по которым предполагают однородность структуры и требуют большого объема исходной информации, которая часто недоступна. Кроме того, актуальна задача оптимизации системы мероприятий, снижающих лесопожарные риски для населенных пунктов. Следовательно, необходимо решение задач экспресс-оценки лесопожарных рисков и оптимального управления ими.

При этом возникает вопрос, нужно ли индивидуальное проектирование указанной системы мероприятий для каждого населенного пункта или достаточно разработки типового проекта, который может использоваться для осуществления мероприятий по защите от лесных пожаров любого гражданского или хозяйственного объекта. По нашему мнению, на первом этапе нужно разработать требования пожарной безопасности к содержанию лесных и безлесных территорий вокруг населенных пунктов на основе идентификации и оценки лесопожарных рисков. Эти требования послужат предпосылкой для планирования противопожарных мероприятий.

На следующем этапе разрабатывается типовой проект системы мер по защите населенных пунктов от лесных пожаров, включающий наиболее распространенные мероприятия по противопожарному обустройству территории. Многообразие лесопирологических условий прилегающей к населенным пунктам территории не позволяет ограничиться только типовым проектом, поэтому требуется его привязка для каждого конкретного населенного пункта. Именно на этом этапе должна решаться задача оптимального управления лесопожарными рисками для населенных пунктов. В качестве критерия оптимальности может быть принята величина лесопожарного риска, а параметрами оптимизации – виды и объемы планируемых противопожарных мероприятий. В состав математической модели также входят различные функциональные и статистические зависимости между представленными в ней параметрами и ограничения по использованию трудовых и материальных ресурсов на реализацию планируемой системы мероприятий.

Таким образом, данная ситуация диктует необходимость разработки требований пожарной безопасности к содержанию лесных и безлесных территорий вокруг населенных пунктов, а также методики оценки лесопожарных рисков. Поэтому крайне важно найти новую, адекватно вписывающуюся в экономику страны организационную модель эффективного управления лесопожарными рисками.

С позиций органов местного самоуправления и населения потенциальный ущерб от лесных пожаров имеет две составляющие: 1) ущерб для населенного пункта и его жителей; 2) ущерб примыкающим к ним лесным участкам. Ясно, что вторая составляющая менее важна, однако указанные участки согласно Лесному кодексу РФ относятся к особо ценным и имеют большое значение для обеспечения жизнедеятельности местного населения [2]. Поэтому мероприятия по защите населенных пунктов от лесных пожаров обеспечивают решение не только прямой задачи, но и способствуют охране от пожаров лесных территорий с наиболее высокой антропогенной пожарной опасностью. Таким образом, реализация проектов по защите населенных пунктов от лесных пожаров дает дополнительный экономический и экологический эффект за счет снижения горимости лесов.

ГОСТ Р 12.3.047–98 регламентирует оценку пожарных рисков технологических процессов, включая оценку социального и индивидуального рисков для наружных технологических установок [3]. Используемые в данном случае параметры для оценки лесопожарных рисков в большинстве не пригодны, можно адаптировать только расчеты вероятностей, связанных с действиями оперативных подразделений, и вероятности предотвращения пожара. Но основная сложность заключается в том, что часть информации для оценки лесопожарных рисков имеет численную форму, а значительную часть информации можно получить только экспертным путем. Поэтому при определении лесопожарных рисков целесообразно наряду с количественными характеристиками условий возникновения, обнаружения, распространения и развития лесных пожаров и факторов, обуславливающих эффективность мероприятий по борьбе с ними, использовать метод экспертных оценок.

Оценка суммарного риска лесных пожаров для населенных пунктов включает в себя риски возникновения пожаров в зоне, прилегающей к населенным пунктам, развития (распространения в направлении населенного пункта), позднего обнаружения и безуспешного тушения. Указанные риски зависят от множества факторов, которые можно разделить на благоприятствующие (способствующие) и препятствующие снижению определенного вида риска. Некоторые из этих факторов могут быть благоприятствующими для одного вида риска и препятствующими для другого. Так, наличие развитой дорожной сети является фактором, повышающим антропогенную пожарную опасность, но, с другой стороны, данный фактор препятствует развитию пожара и способствует его успешному тушению. В качестве примера на рисунке приведена структура формирования риска возникновения лесного пожара.

Функция вероятности возникновения пожаров определяется погодными условиями, лесопирологическими характеристиками прилегающей территории, антропогенными факторами (наличием источников огня и вероятностью их реализации в пожар).

Вероятность позднего обнаружения пожаров наряду с природными факторами определяется существующей системой организации наблюдения за территорией (наличием или отсутствием стационарных наблюдательных пунктов, наземного, авиационного, космического мониторинга, возможностью оперативной передачи информации и др.).

Вероятность развития пожара – функция метеорологических и лесопирологических факторов (включая рельеф местности), а также наличия и параметров сети противопожарных барьеров естественного и искусственного происхождения, останавливающих или замедляющих распространение горения по территории.

Функция вероятности безуспешного тушения определяется параметрами лесного пожара, обеспеченностью силами и средствами пожаротушения, квалификацией специалистов, наличием рубежей для сдерживания пожара и пуска отжига.

Оценка рисков от лесных пожаров для населенных пунктов производится с учетом периода пожароопасного сезона. В наиболее общем виде она может осуществляться с использованием имитационной математической модели, основанной на вероятностных и экспертных оценках и детерминированных связях различных параметров. На первом этапе риски определяются с помощью экспертных оценок с целью выявления населенных пунктов, в первую очередь нуждающихся в защите от лесных пожаров. При этом оценка рисков производится исходя из наиболее неблагоприятных (экстремальных) условий и факторов, которые обуславливают максимальные риски.

Все факторы, которые определяют лесопожарные риски, можно объединить в три группы:

- факторы, которые нельзя предугадать, проконтролировать, на которые невозможно воздействовать (оптические эффекты, падение метеоритов и т. п.);
- факторы, которые можно учесть (погодные условия, рельеф и др.);

– факторы, которые можно учитывать и на которые можно воздействовать (уровень противопожарной подготовки населения, противопожарное обустройство, организация пожаротушения и т. д.).

Для решения задачи определения и оптимального управления лесопожарными рисками в качестве управляемых параметров рассматривались факторы третьей группы, а неуправляемых – факторы второй группы.

Интегральный индекс лесопожарного риска (R_0) определяется по формуле

$$R_0 = F(\bar{a}, \bar{x}) = \sum_{i=1}^4 B_i \left(\sum_{j=1}^k A_{ij} a_j + \sum_{j=k+1}^l A_{ij} x_j \right), \quad (1)$$

где $\bar{a} = (a_1, \dots, a_k)$ – вектор неуправляемых параметров, выражающих количественные значения различных факторов (природных, социальных, организационно-технических); $\bar{x} = (x_{k+1}, \dots, x_l)$ – вектор управляемых параметров, значения которых могут изменяться при планировании системы мероприятий по снижению лесопожарных рисков; B_i – коэффициент значимости i -го вида пожарной опасности в интегральной оценке ($i = 1, \dots, 4$); A_{ij} – весовой коэффициент, учитывающий влияние на i -ый вид пожарной опасности j -го параметра (неуправляемого – при $j = 1, \dots, k$; управляемого – при $j = k + 1, \dots, l$).

При управлении лесопожарными рисками изменяются значения x_j с целью снижения интегральной оценки R_0 . Задача оптимизации управления лесопожарными рисками заключается в минимизации целевой функции (1) при следующем ограничении на финансовые ресурсы, необходимые для реализации системы противопожарных мероприятий:

$$\sum_{j=k+1}^l z_j (x_j - x_j^*) \leq Z_0,$$

где x_j^* – фактическое значение управляемого параметра x_j ; z_j – удельные затраты на выполнение мероприятий, соответствующих j -му параметру; Z_0 – предельно допустимая сумма расходов на реализацию системы противопожарных мероприятий.

Задача определения экономической эффективности системы мероприятий по снижению лесопожарных рисков основывается на сопоставлении планируемых затрат и ожидаемого ущерба. В качестве критерия оптимальности в таком случае используются суммарные убытки, включающие планируемые затраты и ожидаемый ущерб:

$$Q(R_0) = A(R_0) + B(R_0).$$

Учитывая, что $R_0 = F(\bar{a}, \bar{x})$, можно записать критерий оптимальности:

$$\min Q(\bar{a}, \bar{x}) = \min \{A(\bar{a}, \bar{x}) + B(\bar{a}, \bar{x})\}.$$

При снижении лесопожарного риска R_0 посредством увеличения объемов мероприятий величина $A(\bar{a}, \bar{x})$ возрастает, но при этом уменьшается величина $B(\bar{a}, \bar{x})$ – ущерб от пожаров. При оптимальном распределении финансовых средств между основными группами мероприятий указанные функции являются, соответственно, монотонно возрастающей и монотонно убывающей. Это означает, что их сумма имеет экстремальную точку, соответствующую некоторому минимальному значению

суммарных убытков при осуществлении оптимальной по данному критерию системы мероприятий.

При такой постановке задачи оптимизации нет необходимости введения дополнительных ограничений на затраты, поскольку чрезмерное их увеличение приводит к отклонению от оптимума. В то же время использование ограничения по величине допустимого лесопожарного риска может повлиять на оптимальное решение в том случае, если оно, минимизируя убытки, не удовлетворяет требованиям по допустимой величине риска.

В качестве критерия оптимальности (эффективности) может быть использован показатель стоимости проведения мероприятий по снижению риска аварий и катастроф на определенной территории при условии обеспечения необходимого (приемлемого) уровня безопасности. С другой стороны, критерием оптимальности может приниматься интегральный показатель риска с учетом ограничений на используемые финансовые ресурсы.

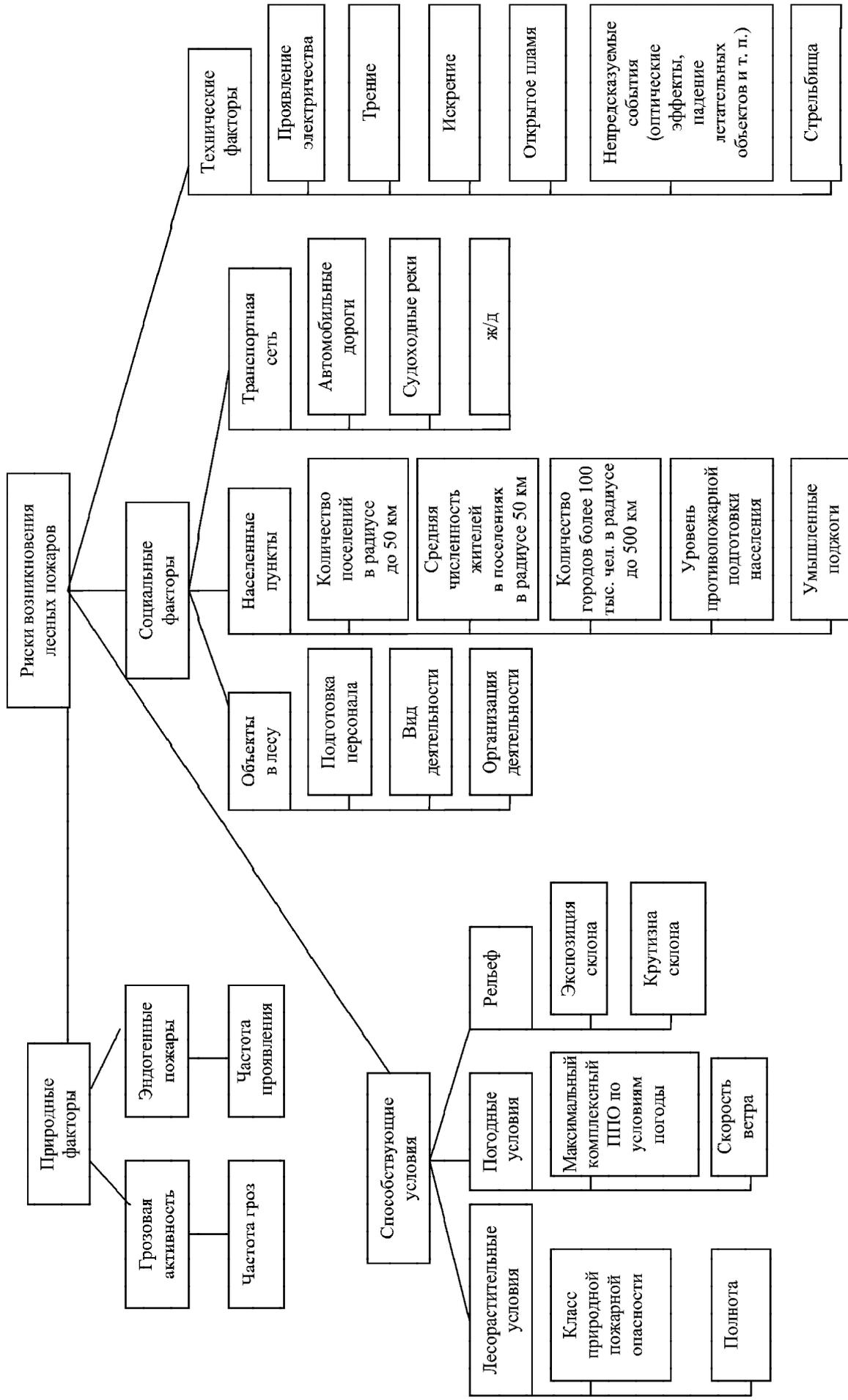
При определении величины интегрального индекса лесопожарного риска для населенного пункта применяется формула (1), при этом управляемым параметрам присваиваются фактически достигнутые на момент обследования значения.

Комплекс противопожарных мероприятий, позволяющий управлять лесопожарными рисками, включает следующие направления:

1. Противопожарную пропаганду, информирование и обучение населения, работников предприятий, осуществляющих свою деятельность в лесу.
2. Космический, авиационный и наземный мониторинг лесов.
3. Противопожарное обустройство лесных и безлесных территорий вокруг населенных пунктов, включая подготовку естественных и искусственных водоемов.
4. Организацию пожаротушения.

Особо следует отметить роль авиационного и космического мониторинга как перспективного направления для управления рисками возникновения и развития лесных пожаров, поскольку обнаружение лесных пожаров на ранних стадиях возгорания позволяет оперативно производить комплекс мероприятий по их локализации. Для патрулирования лесной территории с воздуха лучше всего подходит малая авиация. Она имеет ряд неоспоримых преимуществ в данной области применения: низкую себестоимость летного часа, нетребовательность к аэродромам и техническому обслуживанию и незначительный вред для окружающей среды.

Для авиатрулирования используются самолеты Ан-2П, Ан-24, Ан-26П, Бе-12П, но основную долю авиационного парка составляют самолеты Ан-2 и вертолеты Ми-2 и Ми-8. Авиатрулирование в нашей стране проводит ФГУ «Авиалесоохрана». Часть авиации, привлекаемой для авиатрулирования, не является собственностью Авиалесоохраны, а фрахтуется у местных авиакомпаний на время пожароопасного сезона (с апреля по октябрь). Для обнаружения очагов возгорания в условиях сильной задымленности на самолеты и вертолеты устанавливаются специальные инфракрасные авиадетекторы («Тайга» или аналогичные).



Структурная схема формирования риска возникновения лесного пожара

В настоящее время в нашей стране нет специализированных спутников, предназначенных для слежения за лесными пожарами. С этой целью используются оптические и спектральные каналы геодезических и метеорологических спутников (NOAA, Terra и др.). Эти спутники на современном этапе не могут полностью заменить авиационное патрулирование лесов, поскольку снимки с них имеют низкое разрешение и они способны фиксировать пожары на площади 2...3 га, тогда как при помощи авиационных средств пожар регистрируется на площади нескольких квадратных метров. Но при дальнейшем развитии этого направления лесопожарного мониторинга использование спутников имеет существенные перспективы. Выигрышные моменты при космическом мониторинге заключаются в следующем: в более низкой себестоимости по сравнению с авиатрулированием лесов, большей площади мониторинга, высокой скорости передачи и обработки информации о пожарах.

В каждом из указанных направлений выделяются основные виды мероприятий, которые оказывают наиболее существенное влияние на величину интегрального индекса пожарной опасности, что учитывается с помощью коэффициентов A_{ij} целевой функции R_0 формулы (1).

Принимая во внимание то, что при оценке опасности населенным пунктам от лесных пожаров нет необходимости получения точных числовых значений пожарного

риска, которые могут вводить в заблуждение пользователей, предлагается пятиуровневая шкала рисков от лесных пожаров. Каждый уровень лесопожарного риска требует проведения определенного комплекса мероприятий по защите населенных пунктов от лесных пожаров.

В заключение отметим, что предлагаемый подход к определению опасности лесных пожаров для населенных пунктов и находящихся в лесу хозяйственных объектов можно квалифицировать как экспресс-метод оценки лесопожарных рисков. Использование данного метода позволит реально оценить исходящую от лесных пожаров угрозу, выявить наиболее проблемные в этом отношении населенные пункты и объекты в лесу и обеспечить повышение уровня их противопожарной защиты.

Библиографический список

1. Сенчагов, В. К. Экономическая безопасность России: Общий курс : учебник / под ред. В. К. Сенчагова. 2-е изд. М. : Дело, 2005.
2. Российская Федерация. Законы. Лесной кодекс Российской Федерации : федер. закон № 200 ФЗ : принят 04.12.2006 // Российская газета. 2006. 8 декабря.
3. ГОСТ Р 12.3.047–98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М. : Изд-во стандартов, 1998.

D. G. Okrugin, G. F. Yarichina

ECONOMICAL METHODS FOR FIRE RISK MANAGEMENT IN ADMINISTRATIVE-TERRITORIAL FORMATIONS (USING AIR AND SATELLITE MONITORING)

We have justified methods of identifying and evaluating fire risks in communities and forest facilities. The economic procedures for reducing fire risks were also analyzed in accordance to natural, climatic, and economic conditions of the territory. The principles and the order of evaluating forest fire risks have been described. We have also described the dangers of fire outbreaks, their late allocation, development, and ineffective extinction of forest fires. The main factors of organizing fire safety in communities and forest facilities are described. In this article we have presented an economic-mathematical model of forest fire risk management based on the criteria of a minimal total loss from forest fires.

Keywords: economic procedures, risk, emergency situation, damage, fire.

© Округин Д. Г., Яричина Г. Ф., 2009

Ю. А. Аникина, В. И. Литовченко

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Предложена методика оценки дифференциации социально-экономического развития административно-территориальных единиц в городской агломерации. Апробация предложенной методики позволила определить результативность регулирования жилищно-коммунального развития административно-территориальных единиц в Красноярской агломерации, установить латентные цели региональной политики по особенностям развития феномена дифференциации.

Ключевые слова: регулирование, социально-экономическое развитие, городская агломерация, оценка дифференциации.

Определить результативность регулирования социально-экономического развития административно-территориальных единиц (АТЕ) в городской агломерации (ГА), а также установить латентные цели региональной политики по особенностям развития феномена дифференциации социально-экономического развития АТЕ в ГА возможно только в случае достоверной оценки ситуации, позволяющей функционировать механизму регулирования социально-экономического развития АТЕ в ГА. Предлагаемый методический подход позволяет провести оценку и всесторонний анализ дифференциации социально-экономического развития АТЕ в ГА в три этапа, каждый из которых сосредоточен на решении конкретных задач (рис. 1).

На первом этапе проводится комплексная оценка уровня социально-экономического развития АТЕ в ГА, базирующаяся на системе показателей. Понимание проблем социально-экономического развития АТЕ в ГА и разработка путей их решения становятся возможными при опоре на данные, полученные в ходе анализа социально-экономического состояния исследуемого объекта и выявлении степени соответствия факторов критериям регулирования социально-экономического развития АТЕ в ГА. Это позволяет в дальнейшем выявить диспропорции и неиспользуемые возможности социально-экономического развития АТЕ в ГА для последующего обоснования выбора средств регулирования.

Поскольку частные показатели социально-экономического развития АТЕ в ГА имеют различную размерность и единицы измерения, необходимо построение интегрального показателя, предполагающего переход к единообразным характеристикам, на основе методов многомерной оценки. При этом расчет коэффициента отклонения базовых показателей АТЕ в ГА от соответствующих показателей опорной «точки роста» осуществляется по формуле

$$X_{ik}^j(t) = x_{ik}^j(t) / x_{ik}^n(t),$$

где j – номер АТЕ в ГА; i – номер группы показателей; k – номер показателя в группе; x^n – значение показателя опорной «точки роста» в ГА (критерии регулирования); x^j – значение показателя АТЕ в ГА; t – период времени.

После этого рассчитывается интегральный показатель уровня социально-экономического развития АТЕ в ГА по формуле

$$Y_k^j(t) = \sum_{k=1}^n X_{ik}^j(t) / n,$$

где n – количество показателей в группе.

В качестве основного критерия для принятия решения о приоритетной поддержке АТЕ в ГА чаще всего выступает группировка АТЕ по уровню развития. Поэтому на данном этапе проводится типологическая группировка АТЕ ГА по уровню развития, позволяющая в исходной совокупности выделить группы территорий с разным уровнем развития (табл. 1).

Данная группировка имеет важное значение при выборе АТЕ в ГА, нуждающихся в региональной поддержке.

На втором этапе проводится оценка степени дифференциации развития АТЕ в ГА с использованием коэффициента дифференциации D_{ik} , определяемого как отношение максимального значения коэффициента отклонения базового показателя определенной АТЕ ($x_{ik\max}^j$) к минимальному значению коэффициента отклонения базового показателя другой АТЕ ($x_{ik\min}^j$):

$$D_{ik} = x_{ik\max}^j / x_{ik\min}^j.$$

Отмечая значительную и постоянно возрастающую дифференциацию социально-экономического развития АТЕ в ГА, следует отметить, что неравенство их развития ведет к неустойчивости, усиливает восприимчивость системы к внешним флуктуациям. Однако дифференциация социально-экономического развития АТЕ в ГА не только угроза существования ГА как целостной системы, но и необходимое условие ее развития. Таким образом, наличие дифференциации не свидетельствует о регрессивности и прогрессивности социально-экономических процессов, она лишь указывает на признаки нестабильности системы и возможности перемен.

Одновременно с этим для определения степени дифференциации социально-экономического развития АТЕ в ГА предлагается рассчитывать коэффициент неоднородности $K(x, y)$, разработанный на основе формулы расчета коэффициента пропорционального сходства Имбри–Парди $R(x, y)$:

$$K(x, y) = (1 - R(x, y))100\%, \quad R(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \cdot Y_i^2}},$$

где X_i и Y_i – значения одноименных показателей АТЕ X и Y ; n – количество показателей, участвующих в расчете.

Предложенный коэффициент позволяет сравнивать две АТЕ в ГА по всему комплексу показателей. Чем ближе к нулю значение коэффициента, тем более сходны сравниваемые АТЕ по уровню социально-экономического развития. Нулевое значение показывает, что характеристики социально-экономического развития АТЕ или полностью идентичны, или их изменения происходят строго пропорционально для всех показателей, участвующих в расчете. Построение рейтинговых оценок с использованием коэффициента неоднородности позволяет выявить сходства АТЕ по значениям показателей и направленности их социально-экономического развития.

Третий этап нацелен на оценку потребностей и возможности сглаживания дифференциации социально-экономического развития АТЕ в ГА, связан с определением

признаков нестабильности социально-экономической системы АТЕ, а также определением признаков согласованного и несогласованного развития АТЕ в ГА. Результатом третьего этапа является оценка потребности и возможности мобилизации ресурсов для приведения факторов регулирования в соответствие с критериями регулирования.

Такой подход дает возможность отслеживать динамику развития АТЕ в ГА, изменения основных его параметров, прогнозировать и предотвращать изменения негативного характера, что позволяет выявить фактические результаты регулирования социально-экономического развития АТЕ в ГА.

С использованием данного подхода была проведена оценка дифференциации уровня жилищно-коммунального развития АТЕ в Красноярской агломерации (КА). За период 2006–2008 гг. были рассчитаны коэффициенты

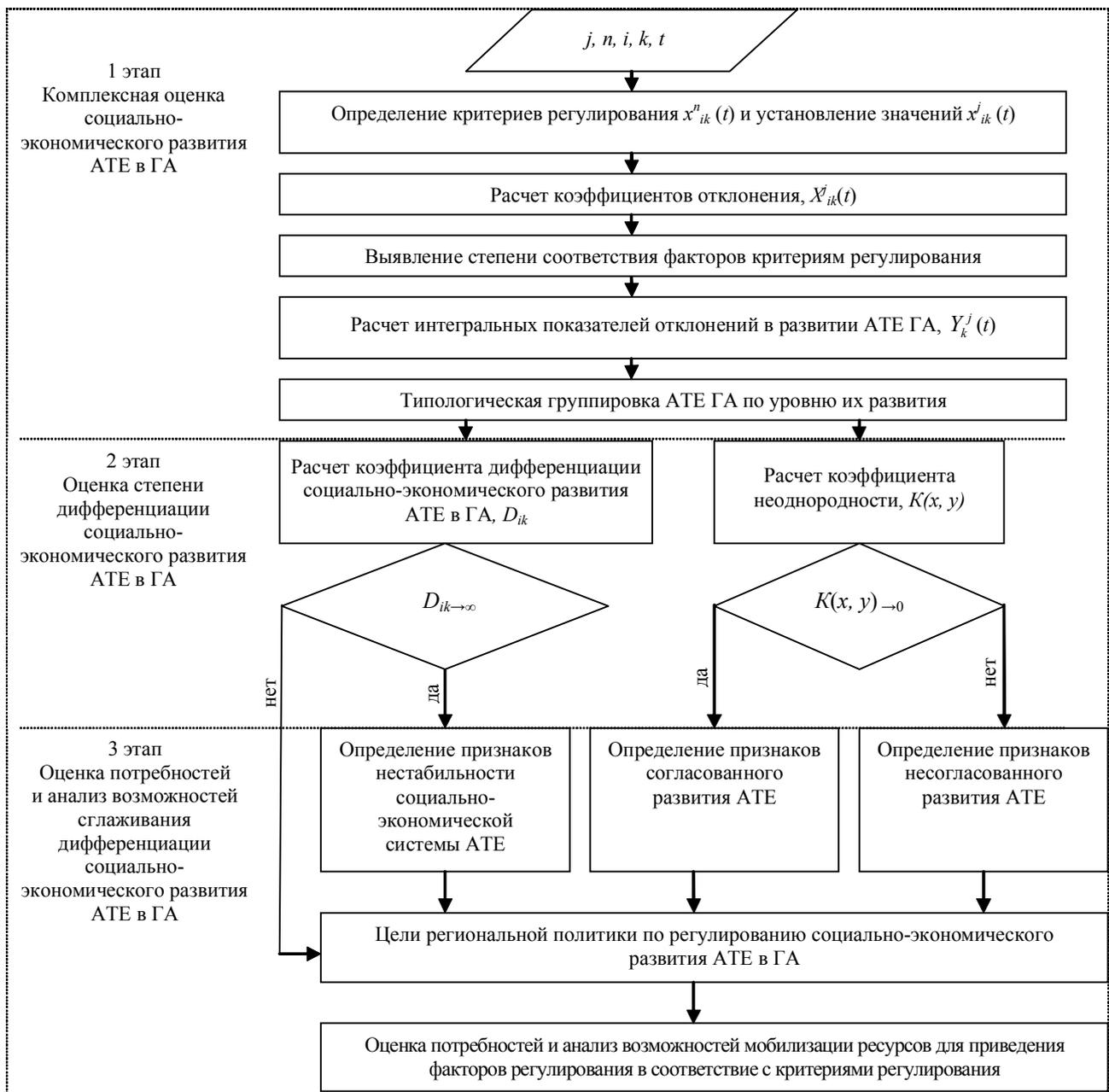


Рис. 1. Алгоритм методики оценки дифференциации при регулировании социально-экономического развития АТЕ в ГА

отклонения базовых показателей АТЕ в КА от соответствующих показателей опорной «точки роста», в качестве которой вступает г. Красноярск. На основе полученных коэффициентов были определены интегральные показатели уровня жилищно-коммунального развития АТЕ в КА (рис. 2). Проведенные расчеты показали, что по показателям, определяющим уровень жилищно-коммунального развития, АТЕ г. Дивногорск выходит на первое место среди АТЕ в КА по сравнению с опорной «точкой роста», на втором месте – г. Сосновоборск.

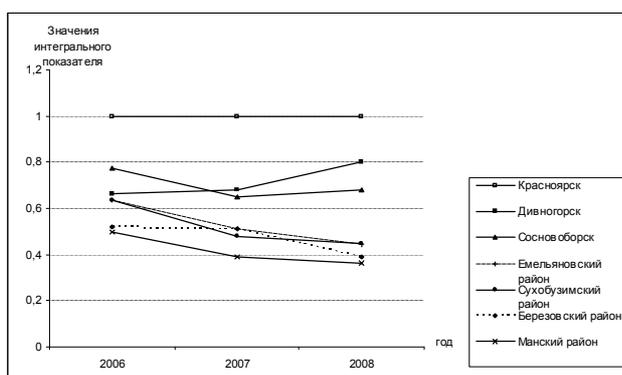


Рис. 2. Динамика отклонений интегрального показателя АТЕ в ГА от интегрального показателя опорной «точки роста»

Оценка уровня жилищно-коммунального развития АТЕ КА позволила выделить группы АТЕ со средним и низким уровнем развития. Таким образом, г. Сосновоборск, г. Дивногорск были отнесены к АТЕ со средним уровнем жилищно-коммунального развития, остальные (Сухобузимский, Манский и Березовский районы) – к АТЕ с низким уровнем. Также выявлено, что существенных изменений в уровне жилищно-коммунального развития АТЕ в КА не происходит. Это позволяет сделать вывод о недостаточной эффективности региональной политики, реализуемой органами региональной власти и местного самоуправления АТЕ в КА.

Оценка степени дифференциации выявила значительные диспропорции в уровне жилищно-коммунального

развития АТЕ в КА: коэффициент дифференциации, рассчитанный по интегральному показателю, составил 40 %. Это свидетельствует об отсутствии сбалансированности жилищно-коммунальных процессов среди АТЕ и о низкой результативности структурной политики АТЕ в КА.

Для выявления сходства или отличий жилищно-коммунального развития АТЕ сравнивались попарно по всему комплексу параметров (табл. 2). В расчетах учитывалась система показателей, динамика которых отражает состояние жилищно-коммунального комплекса территорий. Анализ результатов показал, что г. Дивногорск и г. Сосновоборск (не считая опорной «точки роста»), имея наименьшие значения коэффициента неоднородности, значительно отличаются от других АТЕ в КА, что подтверждают результаты изучения их положения по интегральным показателям, и демонстрируют наибольшую однородность с показателями г. Красноярска. Коэффициенты неоднородности в парах Емельяновский район – Березовский район и Сухобузимский район – Манский район близки (0,8 и 0,7). Привлекая полученные результаты оценки уровня жилищно-коммунального развития АТЕ в КА и исходные значения, можно утверждать, что полученные коэффициенты свидетельствуют о сходстве показателей и тенденций развития.

На основе оценки степени дифференциации уровня жилищно-коммунального развития АТЕ в КА было выявлено, что территории со средним уровнем жилищно-коммунального развития обладают существенным агломерационным потенциалом. Целью политики регулирования жилищно-коммунального развития этих городов должно стать развитие их кадрового и ресурсного потенциала. В перспективе данные районы также могут дать существенное приращение собственной налоговой базы. Районы с низким уровнем развития характеризуются слабо развитой жилищно-коммунальной инфраструктурой. В ближайшей перспективе эти районы будут нуждаться в бюджетной поддержке. Ситуация в них требует постоянного мониторинга. В районах практически отсутствуют внутренние резервы жилищно-коммунального развития и собственная налоговая база. Необходима разработка

Таблица 1

Группировка АТЕ в агломерации по уровню развития

Уровень развития АТЕ в ГА	Отклонение от опорной «точки роста», %
Высокий	До 20
Средний	20–40
Низкий	40 и выше

Таблица 2

Коэффициенты неоднородности жилищно-коммунального развития АТЕ в КА

Административно-территориальные единицы	Коэффициенты неоднородности						
	Емельяновский район	Сухобузимский район	Березовский район	Манский район	г. Красноярск	г. Дивногорск	г. Сосновоборск
Емельяновский район	–	–	–	–	–	–	–
Сухобузимский район	0,8	–	–	–	–	–	–
Березовский район	0,8	0,6	–	–	–	–	–
Манский район	1,0	0,7	1,3	–	–	–	–
г. Красноярск	4,2	5,5	4,3	5,7	–	–	–
г. Дивногорск	2,3	3,1	1,2	3,4	3,2	–	–
г. Сосновоборск	2,5	2,4	1,7	3,1	2,5	0,7	–

механизмов привлечения инвестиций. Основным проектом в данном случае является создание и развитие современной инженерной инфраструктуры агломерации, включающей объекты энерго- и теплообеспечения, канализации и водообеспечения.

Данные, полученные в результате оценки дифференциации жилищно-коммунального развития АТЕ в КА, должны стать информационной основой при принятии управленческих решений в ходе реализации региональной политики.

Yu. A. Anikina, V. I. Litovchenko

TECHNIQUE OF AN ESTIMATION OF DIFFERENTIATION AT REGULATION OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT URBAN AGGLOMERATION

The technique of an estimation of differentiation of socio-economic development of administrative-territorial units in urban agglomeration is offered. The approbation of the offered technique has allowed to define productivity of regulation of housing-and-municipal development of administrative-territorial units in Krasnoyarsk agglomeration, to establish the latent purposes of regional politics on features of development of a phenomenon of differentiation.

Keywords: regulation, socio-economic development, urban agglomeration, estimation of differentiation.

© Аникина Ю. А., Литовченко В. И., 2009

УДК.339.5(571.51)

Г. Я. Белякова, А. К. Владыко

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ВНЕШНЕТОРГОВОГО СОТРУДНИЧЕСТВА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ С КИТАЕМ

Рассматриваются тенденции внешнеторгового сотрудничества Красноярского края с Китаем в системе рыночных отношений. Приводятся предложения по внешнеторговому сотрудничеству с целью повышения эффективности двусторонних взаимовыгодных отношений.

Ключевые слова: внешняя торговля, сотрудничество.

Актуальность работы определяется многообразием форм внешнеторгового сотрудничества и внешнеэкономической деятельности между Россией и Китаем, настоятельной необходимостью их глубокого анализа и разработки новых подходов к расширению торговли в системе рыночных отношений. В качестве объекта выступает внешняя торговля Красноярского края и Китая. Практическая значимость работы состоит в анализе уже существующих направлений и предложении новых потенциальных путей внешнеторгового сотрудничества Красноярского края с Китаем с целью повышения эффективности двусторонних взаимовыгодных отношений.

По показателям товарооборота Китай на протяжении ряда лет входит в пятерку основных торговых партнеров Красноярского края.

Выгодное географическое положение, развитая сеть железных дорог, доступность таможенных согласований, обусловленных приграничным положением данных территорий, обеспечивают наиболее активное деловое сотрудничество между Красноярским краем и провинциями, имеющими общие границы с Россией.

Основные направления внешнеторговых отношений Красноярского края и КНР можно изобразить схематично (рис. 1).

Анализируя уже существующие тенденции сотрудничества Красноярского края с КНР, можно отметить наиболее успешные и перспективные направления двусторонних взаимоотношений, которые бы базировались на взаимовыгодном сотрудничестве Красноярского края с Китаем во внешнеторговой деятельности (рис. 2).

Сотрудничество в инновационной сфере. В последние годы возникли объективные экономические предпосылки для успешного развития науки в Сибири, которая могла бы стать одной из самых перспективных сфер сотрудничества с Китаем. «У сибирских ученых имеется достаточно много разработок, которые при соответствующих инвестициях могли бы стать инвестиционным продуктом» [1]. «Наши технологии дешевле американских и европейских, и, конечно, китайцы очень заинтересованы в том, чтобы покупать их у нас» [2].

Так, в частности в Красноярске, на базе НИФТИ и НТЦ «Магнитогидродинамика», при недавно созданном Сибирском федеральном университете, а также других научно-исследовательских центров, таких как ФГУП ЦБК «Геофизика», уже сейчас существует много уникальных инновационных разработок. Специалисты НТЦ «Магнитогидродинамика», например, разработали инновационный проект по изготовлению высококачественных сплавов из цветного металла, НИФТИ разработал такую ин-

новационную технологию, как пеностекло, которое является абсолютно инертным материалом, не подверженным влиянию времени. Помимо этого, пеностекло примечательно тем, что при его производстве возможна утилизация битого стекла. И таких уникальных проектов существует большое количество.

«Однако наше слабое место – это маркетинг. Мы не знаем, что и в каком объеме нужно Китаю», – сообщил президент группы компании «Техноконсалт» Сергей Симаранов [2]. Пока нет правовой и договорной базы, говорить о разного рода научно-исследовательском сотрудничестве рано. К тому же отсутствие координации между заказчиком и исполнителем не позволяет приступить к осуществлению сотрудничества в данной области.

Для осуществления сотрудничества в инновационной сфере администрации Красноярского края необходимо решить, что можно вывозить, а что нет. Кроме того, необходимо отделить инновационную сферу от научного сотрудничества, а также создать сеть партнеров в Китае, на которых можно было бы опираться при осуществлении программ. Сотрудничество Красноярского края с партнерами из Китая в области науки и техники, «...совместная коммерциализация инновационной продукции и ее продвижение на рынки Китая, создание совместных предприятий для реализации конкретных инновационных проектов позволили бы отечественным предприятиям реализовать свой научно-технический потенциал и получить реальную отдачу от средств, ранее вложенных в создание наукоемкой продукции; использовать опыт Китая в области коммерциализации наукоемкой продукции, а также его ресурсы для промышленного внедрения своих разработок и освоить специфичный рынок Китая» [3].

Экспорт природных ресурсов. Вторым немаловажным аспектом сотрудничества считается экспорт природных ресурсов. Окрестности Енисея богаты природными ресурсами. Важнейшие из них – золото и платина, кроме того, в изобилии представлены уголь, железная руда, никель и боксит. Здесь постоянно открываются все новые и новые месторождения нефти и газа. «Месторождения

Красноярского края в пять раз больше месторождений в Ханты-Мансийске и Тюмени» [4].

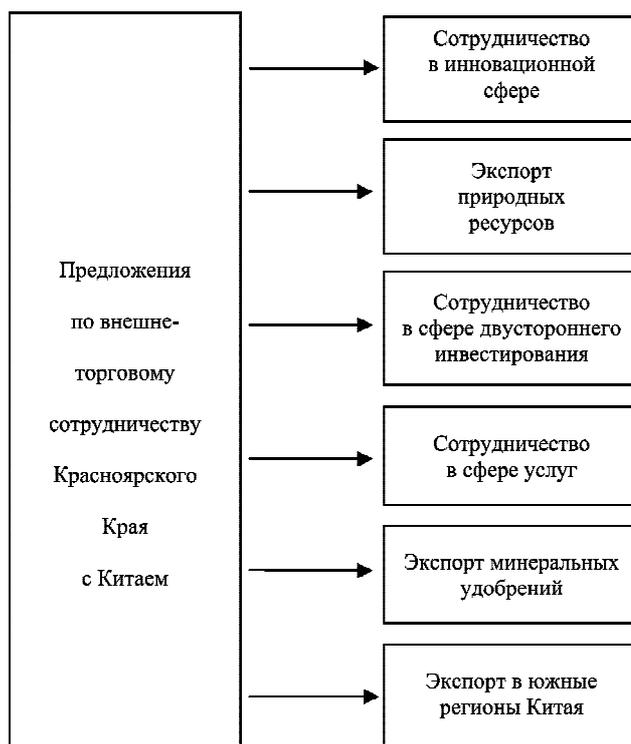


Рис. 2

Анализируя вышесказанное, можно сделать выводы о том, что, во-первых, экспорт природных ресурсов в Китай принесет значительные поступления в казну, а во-вторых, позволит решить немаловажную для экономики страны задачу диверсификации экспорта природных ресурсов. Для обеспечения поставки экспорта природных ресурсов необходима высокотехнологичная инфраструктура нефте- и газопроводов, соответствующих линий электропередач, которые в перспективе могли бы быть сооружены и построены с помощью инвестиций, привлеченных из Китая.

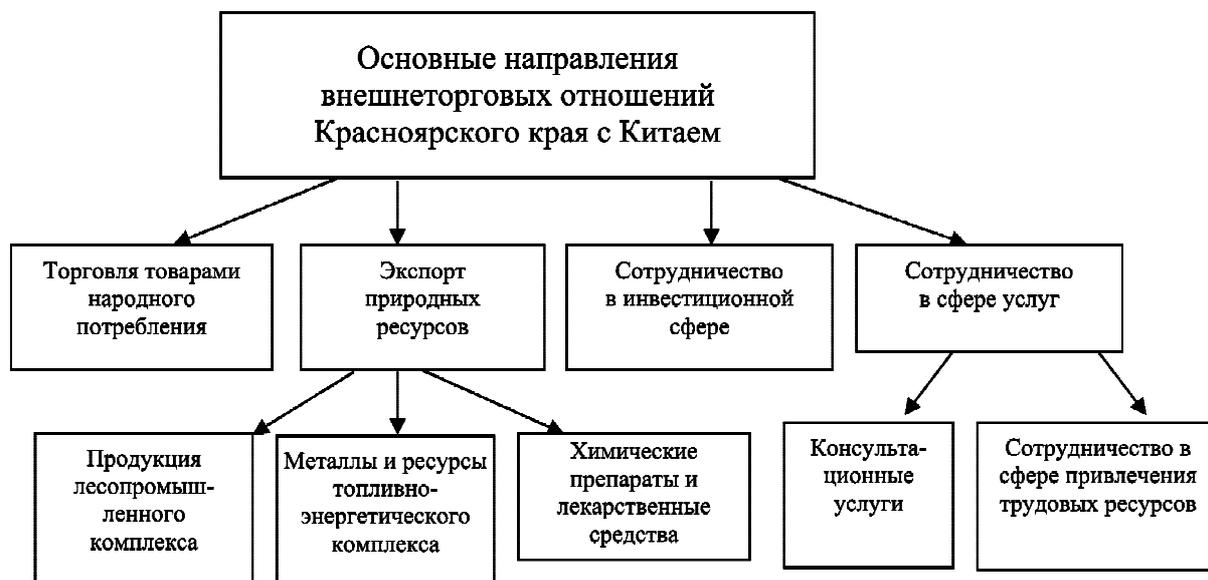


Рис. 1

Сотрудничество в сфере двустороннего инвестирования. Инвестиционная привлекательность отечественных предприятий во многом зависит от стратегии, выбранной каждой компанией. Сегодня иностранные инвесторы готовы разделить риск с существующими собственниками предприятий и приобрести акции тех компаний, которые обладают высоким потенциалом роста, ясной стратегией развития и менеджментом, способным реализовать эту стратегию. Реальным препятствием на пути инвестиций в отечественную промышленность является не столько дефицит капитала, сколько недостаток инвестиционно привлекательных предложений, соответствующих требованиям профессиональных инвесторов. Потенциальным инвесторам и другим участникам инвестиционного процесса необходима объективная и комплексная информация об инвестиционной привлекательности предприятий.

Активизация инвестиционных вложений в производственную деятельность, как правило, происходит посредством создания совместных предприятий. Так, в 2006 г. в Красноярск приезжала делегация из Шанхая для проведения переговоров с ЗАО «Красноярсклесоматериалы» на тему создания совместного предприятия и вложения инвестиций для строительства производственных мощностей для изготовления плит МДФ. На данный момент сотрудничество в данной сфере находится на стадии проекта.

Как было сказано выше, китайские инвестиции могут быть привлечены для строительства высокотехнологичной инфраструктуры нефте- и газопроводов, линий электропередач, для обеспечения поставок экспорта природных ресурсов на территорию КНР, а также на создание совместных предприятий в области глубокой переработки ресурсов.

Рассматривая сферу инвестиционного сотрудничества со стороны Китая, также необходимо отметить особую заинтересованность в осуществлении данного вида деятельности. В последние годы финансовый рынок Китая получил новое активное развитие. Народный банк Китая 19 марта 2007 г. опубликовал «Доклад о международном финансовом рынке – 2007», в котором отмечались следующие «...особенности, характеризующие финансовое развитие финансового рынка Китая в этот период:

- активизация дальнейшего строительства инфраструктуры финансового рынка (в стране действуют межбанковский денежный рынок, рынок облигаций, вексельная ярмарка, фондовый рынок и рынок страхования);
- повышение эффективности и безопасности китайского финансового рынка;
- углубление реформы в финансовой отрасли Китая, увеличение количества финансовых продуктов, диверсификации форм сделок;
- непрерывное повышение уровня открытости финансового рынка внешнему миру, усиление связей между отечественным и мировым финансовым рынком путем расширения доли участия иностранных инвесторов на китайском финансовом рынке и взаимно активного участия китайских инвесторов во всемирном финансовом рынке;
- расширение масштабов финансового рынка (в период с января по сентябрь 2007 г. на межбанковском де-

нежном рынке Китая объем сделок составил 6 трлн 368,45 млрд юаней, с приростом на 364,4 %)» [5].

Поскольку Китай быстро интегрируется в мировую экономику и финансовую систему, стабильность в его собственном финансовом секторе становится чрезвычайно важной для мировой экономики.

Руководство Китая жестко контролирует отток капитала из страны, однако сейчас в условиях обилия капитала внутри страны и кредитного кризиса на рынках, которые являются основными потребителями китайского экспорта, решение об обильных иностранных инвестициях со стороны Китая видится наиболее разумным.

Сотрудничество в сфере услуг. Еще одним направлением двустороннего сотрудничества могло бы стать сотрудничество в сфере услуг:

1. Рекреационный потенциал Красноярского края велик. Природные рекреационные ресурсы (моря, реки, озера, минеральные воды, живописные ландшафты) очень разнообразны. Многие территории практически не затронуты цивилизацией – спрос на такие территории во всем мире постоянно растет. Привлекательность Красноярского края как объекта туризма определяется, прежде всего, следующими факторами: историческим и культурным развитием региона, которое неразрывно связано с историей и культурой всей России; географическим положением, позволяющим сделать край отправной точкой туристских маршрутов по Сибири и Дальнему Востоку. Кроме того, в регионе регулярно проводятся международные соревнования по различным видам спорта.

Наиболее перспективными являются города Красноярск, Дивногорск, Минусинск, Енисейск, а также Шушенский и Ермаковский районы. В основу программы по сотрудничеству в сфере туризма должны войти такие проекты, как «Красноярск – центр туризма Сибири», «Саянское кольцо», «Енисейск – духовная столица Сибири». Планируется создание горнолыжного центра в Бобровом логу, развитие экологического туризма на базе заповедника «Столбы». В условиях частых техногенных катастроф в Китае, данного рода сотрудничество видится логичным, предложенные туристические программы – уникальными. Данного рода сотрудничество будет способствовать становлению туристической индустрии и развитию всей инфраструктуры Красноярского края.

2. Транспортные услуги. Выгодное географическое положение Красноярского края и наличие трех транспортных коридоров предоставляют возможность рационализации мировых транспортных взаимосвязей. В меридиональном направлении территорию Сибири пересекает судходная на всем протяжении река Енисей, в широтном – Транссибирская железная дорога. Большие перспективы связаны с использованием ХАБа и освоением кросс-полярных авиационных маршрутов, которые при использовании могут дать высокий экономический эффект.

3. Привлечение специалистов и производителей из КНР, а не торговцев. В связи с высокими темпами роста объемов строительства в крае, реализацией грандиозных проектов, таких как достройка Богучанской ГЭС, строительство алюминиевого завода, целлюлозно-бумажного комбината, освоение Ванкорского месторождения, сложилась проблема острого дефицита рабочей силы. Не-

достаточность кадров объясняется тяжелыми условиями труда и сезонностью выполняемых работ. «Среди заявленных вакансий 23 % приходится на строительную отрасль. А из числа людей, зарегистрированных в Центре занятости, 75 % – женщины. Недостаток рабочей силы в Красноярском крае возможно решить путем привлечения граждан Узбекистана, Таджикистана, Киргизии, Армении, Кореи, Турции и Китая» [6].

Сотрудничество в данной сфере является выгодным для обеих сторон, так как на территории Красноярского края существует высокая потребность в привлечении иностранных трудовых ресурсов, и для китайской стороны, с ее перенаселенностью и трудностью в поиске рабочих мест, низкой заработной платой, данный вид сотрудничества также носит привлекательный характер.

Однако массово привлекая граждан Китая для реализации проектов по строительству на территории края, считается немаловажным не допустить компактных поселений китайских мигрантов, отдавая приоритеты их дисперсному расселению. В таком случае они быстрее интегрируются в наше общество, быстрее освою язык, нормы поведения, культуру.

Экспорт минеральных удобрений. Недостаточность Китая – наша выгода. Одним из основных потребителей азотных удобрений является Китай, энергодефицитный, но имеющий благоприятный для земледелия климат. Всем известно, что азот – один из главнейших компонентов всей растительности на земном шаре. Поэтому без применения азотных удобрений невозможны дальнейший прогресс и развитие сельского хозяйства – одной из составных частей экономики КНР. Производство удобрений в Китае – бизнес достаточно развитый, хотя по качеству китайские удобрения явно уступают российским.

«Потребность Китая в азотных удобрениях (в пересчете на карбамид) составляет около 48 млн т в год – только для производства продуктов питания собственного (внутреннего) потребления, без учета поставок на экспорт» [7].

«Воспользовавшись недостаточностью Китая в области качественных минеральных удобрений, российское предприятие «Акрон», имеющее две производственные базы в Великом Новгороде и Смоленской области, сумело построить производство и розничную сеть по сбыту удобрений в КНР» [8].

Но спрос на рынке минеральных удобрений в Китае настолько велик, что позволяет использовать эту нишу как стратегическую для выхода на китайский рынок.

Существует ряд преимуществ, связанных с открытием производства минеральных удобрений на территории Красноярского края. Главным преимуществом являются залежи сырья для производства удобрений, в Китае же мало калия и серы, и эти минералы им приходится ввозить из России и других стран. Вторым положительным аспектом, ратующим за установление внешнеэкономических отношений между Красноярским краем и КНР в области минеральных удобрений, является тот факт, что на территории Красноярского края на базе Красноярского завода цветных металлов имени В. Н. Гулидова производятся необходимые в изготовлении минеральных удобрений катализаторные сетки. Аналогичного производства на территории России нет.

«Красноярские катализаторные сетки приобретают и такие мощные предприятия, как нижегородский «Акрон», производящий 25 % всех азотных удобрений» [8]. Достаточно близкая расположенность двух взаимосвязанных производств также добавит ряд конкурентоспособных преимуществ.

В качестве первоочередного инвестиционного проекта предлагается создать мини-заводы по выпуску азотных удобрений. Ориентировочно один из мини-заводов может быть расположен в пригороде краевого центра (например, в окрестностях промплощадки завода «Крастяжмаш»), а другой – в Назарово, при Назаровской ГРЭС.

Реализация данного проекта может выдвинуть Красноярский край на роль мирового лидера по экспорту азотных удобрений.

Осуществление экспорта в южные регионы Китая. В Китае действуют специальные свободные экономические зоны (СЭЗ). Их деятельность направлена на либерализацию и активизацию внешнеэкономической деятельности. Их экономика имеет высокую степень открытости внешнему миру, а таможенный, налоговый и инвестиционный режимы благоприятны для осуществления внутренних и внешних инвестиций.

Многие предприятия в поисках льготных условий для своей деятельности рассматривают эти зоны как потенциальный источник, где можно получить сверхприбыль.

В Китае действуют следующие «... основные административно-экономические образования с льготными режимами:

- 5 специальных экономических зон: Шэньчжэнь, Чжухай, Шанью, Сямэнь, Хайнань, а также приравненный к ним по статусу новый район Пудун (Шанхай);

- 32 зоны экономического и технологического развития в г. Пекин, Шанхай, Гуанчжоу, Тяньцзинь, Далянь, Харбин, Урумчи, Ухань, Чунцин, Ханчжоу, Шэньян, Чанчунь, Инкоу и других крупных городах;

- 15 зон свободной торговли в г. Шанхай, Тяньцзинь, Далянь, Гуанчжоу, Нинбо, Чжанцзяган, Хайкоу, Сямэнь, Фучжоу, Циндао, Шанью, Чжухай и Шэньчжэнь;

- 14 зон приграничного экономического сотрудничества в г. Дандун, Хэйхэ, Суйфэньхэ (провинция Хэйлуцзянь), Маньчжоули, Эрлянь (АРВМ), Хуэйчунь (провинция Цзилинь), Инин, Боле, Тачэн (СУАР), Пинсян, Дунсин (ГЧАР), Жуйли, Вантин, Хэкоу (провинция Юньнань)» [9].

Как упоминалось выше, перспективы сотрудничества Китая и Красноярского края разнонаправленные: инновации, инвестиции, экспорт товаров глубокой обработки, импорт качественных товаров и многое другое. Говоря об одной из составляющих товаров и многое другое. Говоря об одной из составляющих двустороннего сотрудничества – экспорте – важно подчеркнуть, что приоритетными являются возможности, во-первых, для экспорта товаров глубокой обработки и, во-вторых, для экспорта товаров из Красноярского края на юг Китая, а не на север, как сейчас. Это позволит красноярским экспортерам торговать на равных условиях и по конкурентным ценам, получая льготы от осуществления торговой деятельности на территории СЭЗ, а не «сбрасывать» товар на границе за ту цену, которую установили китайцы.

Для этого торгово-промышленная палата (ТПП) РФ имеет представителя для оказания помощи в поисках де-

ловых партнеров, в частности в Шанхае, где и находится представительство ТПП РФ.

В заключение важно еще раз отметить, что одной из главных задач Красноярского региона является оптимизация внешнеторговых и экономических отношений с Китайской народной республикой с пользой для экономического развития Красноярского края, расширение торгово-экономической связи не только в сырьевой отрасли, но и в области легкой промышленности, туризма, образования, в инвестиционно-инновационной сфере.

Исследования и выводы работы доведены до конкретных рекомендаций по повышению эффективности внешнеторговой деятельности, анализа новых потенциальных путей внешнеторгового сотрудничества между Красноярским краем и Китаем и предоставляют возможность применения ее положений в деятельности китайских и российских внешнеторговых предприятий.

Библиографический список

1. Евдокимов, М. Экспорт региона / М. Евдокимов // Континент Сибирь. 2007. № 45(324). С. 4–5.

2. Электронные текстовые данные [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.recipe.ru>. Загл. с экрана.

3. Электронные текстовые данные [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sbras.nsc.ru/np/vyp2004/pr02.htm>. Загл. с экрана.

4. Электронные текстовые данные [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.inopressa.ru/faz/2007/03/12/15:12:14/aluminium>. Загл. с экрана.

5. Электронные текстовые данные [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.chinadata.khv.ru/scit_ma.htm. Загл. с экрана.

6. Электронные текстовые данные [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.newslab.ru/news/187107>. Загл. с экрана.

7. Как нам победить Китай // Эксперт № 13. 2008. 31 марта. С. 82–83.

8. Электронные текстовые данные [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.knfmp.ru/press/ss52005.html/>. Загл. с экрана.

9. Электронные текстовые данные [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.nalogi.net/1997/199708_2.htm. Загл. с экрана.

G. Ya. Belyakova, A. K. Vladyko

MAIN DIRECTIONS ANALYSIS OF THE FOREIGN TRADE COOPERATION OF KRASNOYARSK REGION WITH CHINA

The tendencies of the foreign trade cooperation between Krasnoyarsk region and China in the system of market economy are considered. The offers for the foreign trade cooperation with the purpose of increasing the efficiency of bilateral mutually advantageous relations are given.

Keywords: foreign trade, cooperation.

© Белякова Г. Я., Владыко А. К., 2009

УДК 338.26:27

В. А. Бадрызлов, В. В. Дрофа, В. В. Проскурин

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЫНОЧНОЙ ДОЛИ В СТРАТЕГИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ

Рассматривается метод прогнозирования рыночной доли продукции в стратегическом планировании на примере ОАО «Омское моторостроительное конструкторское бюро».

Ключевые слова: планирование, прогнозирование, главный параметр, темпы устаревания.

Стратегические планы предприятия зачастую связаны с величиной доли предприятия на рынке однотипной продукции. Увеличение рыночной доли может быть одной из стратегических задач предприятия, а формальные процедуры разработки стратегии основываются на знании доли рынка. Однако в современных российских условиях даже задача определения фактической доли рынка является сложной. Сложность эта объясняется слабым развитием информационной базы рыночных операций:

отсутствует полная и достоверная информация об объемах выпуска продукции, товарообороте, потенциальной емкости рынка. В этих условиях неполноты информации представляется актуальной задача определения и прогнозирования рыночной доли.

Можно выделить эмпирические методы определения рыночной доли, в основу которых положены наблюдения за реальными объектами. Так, например, О. Егина выделяет следующие методы определения фактической

рыночной доли в условиях неполноты информации: розничный аудит продаж различных торговых марок; панельные исследования потребителей; опрос предпочтений; метод парных сравнений; различные методы «шпионажа», позволяющие по косвенным данным определить объем производства продукции (например, имея данные о численности персонала конкурента и отраслевой производительности труда, можно определить выпуск продукции) [1].

Все названные методы более подходят для потребительских товаров, многократно приобретаемых и потребляемых покупателями.

Сложнее обстоит дело с определением рыночной доли продукции производственно-технического назначения. Как правило, такая продукция используется длительное время, потребители продукции не склонны к экспериментам, как розничные покупатели. Потребителю важны технические характеристики приобретаемой продукции, параметры качества и надежности, поэтому эмпирические методы определения рыночной доли в форме аудита продаж, панельных исследований и т. д. практически неприменимы к продукции производственно-технического назначения.

Именно такие проблемы позиционирования своей продукции стоят перед предприятием ОАО «Омское моторостроительное конструкторское бюро» (далее – ОМКБ). Оборонный характер продукции предприятия не позволяет получить полную, достоверную и открытую информацию о работе конкурентов, о технических характеристиках продукции. Однако оценивать свою позицию на отечественном рынке необходимо для построения стратегических планов предприятия. В современных экономических условиях появляется интерес к выводу продукции на международный рынок вооружений, где получение информации более затруднено, но оценивать и прогнозировать свою долю международного рынка – еще более актуальная задача.

В ходе стратегического планирования деятельности ОМКБ были проанализированы различные подходы к прогнозированию рыночной доли предприятия, предложенные в работе И. В. Петуховой и Н. В. Петуховой [2].

Все подходы к прогнозированию рыночной доли предприятия можно разбить на два направления: эвристические и экономико-математические. К числу *эвристических* подходов относится метод внутреннего и внешнего экспертного прогнозирования, метод потребительской оценки с использованием цепи Маркова.

Экономико-математические методы предполагают построение модели, позволяющей отследить влияние одного или нескольких ключевых факторов на результативный показатель (доля рынка). В зависимости от числа учитываемых факторов различают однокомпонентные методы прогнозирования (предполагают учет влияния только одного фактора) и многокомпонентные методы прогнозирования (предполагают учет влияния нескольких факторов на прогноз доли рынка предприятия).

Среди однокомпонентных методов выделяют модели симметричного роста продаж и асимметричные модели прогнозирования. Среди многокомпонентных методов прогнозирования выделяют следующие:

- метод, основанный на взвешивании потребительских свойств и цен товаров-конкурентов;
- модель заданных темпов устаревания продукции (модель Яблонского);
- четырехсегментная пробно-повторная модель прогнозирования [2].

Каждый из названных методов с точки зрения применения в практической деятельности ОМКБ и определения рыночной доли продукции предприятия имеет трудности реализации. Так, метод внутреннего и внешнего экспертного прогнозирования обладает высокой степенью субъективности оценок экспертов и требует знания рыночной доли предприятия на текущий момент (она неизвестна). Метод потребительской оценки с использованием цепи Маркова предполагает знание рыночной доли на текущий момент и требует многоступенчатого процесса анкетирования потребителей. Модели симметричного и асимметричного роста продаж используют для прогнозирования знания рыночной доли на текущий момент. В методе прогнозирования, основанном на взвешивании потребительских свойств и цен товаров-конкурентов, требуется количественная оценка конкурентоспособности различных видов продукции, а эта оценка является не менее сложной задачей, чем задача определения рыночной доли продукции.

Четырехсегментная пробно-повторная модель прогнозирования предполагает многокритериальное разбиение покупателей на группы, требует знания доли рынка на текущий момент, а также знания затрат на рекламу по конкурентам.

Таким образом, большинство предлагаемых методов основано на том, что к моменту прогнозирования уже известна текущая рыночная доля, однако именно это и является основной проблемой в условиях недостатка информации. Подобного недостатка лишена модель заданных темпов устаревания продукции (модель Яблонского). В основе модели лежит значение главного потребительского параметра, темпы роста этого параметра и продолжительность нахождения различных товаров-конкурентов на рынке. Предлагается остановиться на *модели заданных темпов устаревания продукции*. Для ОМКБ и других предприятий, производящих технически сложную продукцию, аргументами за использование этого метода можно назвать следующие:

1. Продукция сложна и трудоемка в проектировании и изготовлении, длительное время находится на рынке и редко обновляется. Обычно известно, когда конкуренты начали выпускать аналогичную продукцию.
2. Легко определяется главный параметр продукции, например, производительность оборудования, грузоподъемность, мощность, вместимость и т. д.
3. На основании ретроспективных данных о величине главного параметра можно сделать прогноз о его значении в перспективе (например экспоненциальный).

Использование модели заданных темпов устаревания (модели Яблонского) осуществляется в соответствии с этапами [2; 3]:

- 1) анализ всех параметров продукции и выявление главного параметра X , который определяет потребительское восприятие продукции;

2) определение длительности периода нахождения на рынке (возраста τ) каждого вида продукции, представленного на рынке в настоящее время;

3) нахождение формы распределения видов продукции по возрасту, т. е. нахождение вида зависимости доли изделий от их возраста $F(\tau)$;

4) анализ тенденции изменения во времени главного параметра продукции $x(\tau)$;

5) интеграция зависимостей, полученных на 3-м и 4-м этапах, в зависимость, отражающую возможную долю рынка продукции, обладающей определенными значениями главного параметра $F(x)$.

В модели предлагается определение следующих значений:

– нормального распределения продукции на рынке по возрасту:

$$F(\tau) = \frac{e^{-(\tau-a)^2 / 2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi\sigma}}; \quad (1)$$

– экспоненциального роста значений главного параметра во времени:

$$x(\tau) = x_0 e^{\lambda(2a-\tau)},$$

откуда

$$\tau = 2a + (\ln(x_0) - \ln(x)) / \lambda; \quad (2)$$

– зависимость для определения величины доли рынка от величины главного параметра:

$$F(x) = \frac{e^{-\{a + [\ln(x_0) - \ln(x)] / \lambda\}^2 / 2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi\sigma}}, \quad (3)$$

где a – средний возраст продукции, представленной на рынке; σ – среднее квадратическое отклонение для возраста продукции; x_0 – значение главного параметра для продукции с возрастом $2a$; λ – темп роста значений главного параметра продукции в единицу времени, обусловленный характерной для рынка интенсивностью конкуренции и скоростью внесения усовершенствований в продукцию.

В результате применения названных формул удается выполнить прогноз рыночной доли продукции при за-

данном значении главного параметра продукции.

В ходе стратегического планирования выполнялось сопоставление нескольких моделей турбореактивных двухконтурных двигателей специального применения (табл. 1).

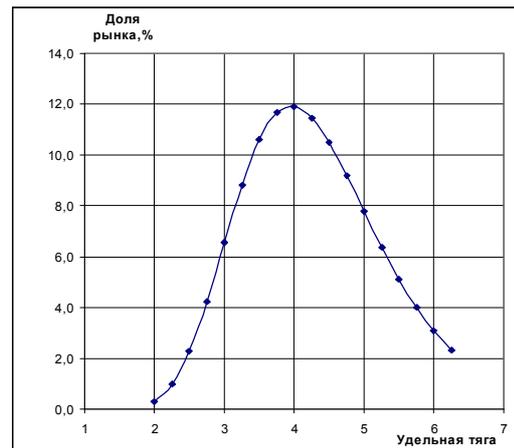
В качестве главного параметра продукции была выбрана удельная тяга двигателя (характеризует техническое совершенство двигателя).

В соответствии с рассмотренной методикой определяется средний возраст продукции $a = 19,1$ г. и среднее квадратическое отклонение для возраста продукции $\sigma = 11,2$ г. Значение главного параметра для продукции с самым большим возрастом (35 лет) $x_0 = 2,57$.

Для расчета параметра λ (темп роста значений главного параметра продукции) в электронных таблицах Excel используется средство «Поиск решения», дающее результат $\lambda = 0,02259$. Зависимость главного параметра от времени получаем в виде

$$x(\tau) = 2,57 \cdot e^{0,02259(38,2-\tau)}.$$

Подставив далее найденное значение λ в формулу (3), получаем аналитическую зависимость рыночной доли от прогнозного значения главного параметра. Результаты прогноза рыночной доли для различных значений главного параметра представлены в табл. 2, графическое представление зависимости $F(x)$ показано на рисунке.



Зависимость доли рынка от значения главного параметра

Таблица 1

Сравниваемые двигатели

Двигатель	Страна, организация-производитель	Год начала выпуска	Тяга, кгс	Масса двигателя, кг	Удельная тяга, кгс/кг	Продолжительность выпуска на начало 2009 г., лет
ТРДД-50	Россия, Омск, ОАО «ОМКБ»	1980	450	95	4,74	28
P95-300	Россия, ОАО АМНТК «Союз»	1982	350	95	3,68	26
36МТ	Россия, НПО «Сатурн»	2002	450	82	5,49	6
P125-300	Россия, ОАО АМНТК «Союз»	2002	340	68	5,00	6
Williams International F107WR-101	США	1983	288	64	4,50	25
Williams International F112WR-100	США	2000	332	73	4,55	10
Turbomeca Aubisque	Франция	1963	745	290	2,57	35

Можно сделать вывод, что наибольший рыночный потенциал имеет продукция с параметром удельной тяги 4 кгс/кг (ее доля рынка составляет 12 %).

Пользуясь полученной зависимостью, можно спрогнозировать долю рынка рассматриваемых двигателей, например, при выходе на международный рынок (табл. 3).

Прогноз доли рынка для двигателя 36МТ с наибольшим значением удельной тяги двигателя составляет 5,2%. Наибольший прогноз доли рынка имеет отечественный двигатель Р95-300. У него оказалось оптимальное соотношение между сроком пребывания на рынке и техническими параметрами.

Таким образом, предложенный метод прогнозирования рыночной доли продукции может найти применение в стратегическом планировании промышленных предприятий, изготавливающих технически сложную продукцию с редким обновлением модельного ряда. Разра-

батывая стратегию создания новой продукции, можно составить прогноз рыночной доли исходя из планируемых технических характеристик создаваемой продукции.

Библиографический список

1. Егина, О. Теория и практика выявления доли рынка, занимаемой товаром и услугой [Электронный ресурс] / О. Егина. Режим доступа: <http://www.management.com.ua/marketing/mark086.html>. Загл. с экрана.
2. Петухова, И. В. Современное состояние и направления совершенствования методологии прогнозирования рыночной доли продукции / И. В. Петухова, Н. В. Петухова // Маркетинг в России и за рубежом. 2001. № 5. С. 13–25.
3. Яблонский, А. И. Математические модели в исследовании науки / А. И. Яблонский / отв. ред. Ю. М. Гаврилец; АН СССР, ВНИИ системн. исслед. М.: Наука, 1986.

Таблица 2

Зависимость рыночной доли от величины главного параметра

Значение главного параметра	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	5,75	6	6,25
Доля рынка, %	0,3	1,0	2,3	4,2	6,6	8,8	10,6	11,7	11,9	11,5	10,5	9,2	7,8	6,4	5,1	4,0	3,1	2,3

Таблица 3

Прогноз доли рынка турбореактивных двухконтурных двигателей

Двигатель	ТРДД-50	Р95-300	36МТ	Р125-300	Williams International F107WR-101	Williams International F112WR-100	Turbomeca Aubisque
Значение главного параметра	4,74	3,68	5,49	5	4,5	4,55	2,57
Доля рынка, %	9,2	11,4	5,2	7,8	10,5	10,2	2,8

V. A. Badryzlov, V. V. Drofa, V. V. Proskyrin

METHODS OF FORECASTING OF A MARKET SHARE IN STRATEGIC PLANNING

The method of forecasting of a market share of production in strategic planning on example of Open joint-stock company «Omsk engine design bureau» is considered.

Keywords: planning, forecasting, main parameter, rates of obsolescence.

© Бадрызлов В. А., Дрофа В. В., Проскурин В. В., 2009

ИНТЕНСИВНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ ЗАДАЧ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ*

Рассматривается возможность применения организационно-деятельностных методов коллективного решения проблемных задач и использования инфокоммуникационной инфраструктуры и информационных ресурсов органов власти для формирования институциональных механизмов многоаспектного мониторинга и комплексного планирования, адекватных потребностям системной координации деятельности государственных и частных субъектов регионального развития.

Ключевые слова: методология, организационно-деятельностные игры, региональное управление, функциональные системы, информационные системы.

В современной России в условиях множества и многообразия субъектов экономики и хозяйствования, государственного управления и местного самоуправления не сложились институциональные механизмы, определяющие формирование согласованной модели будущего, и скоординированные действия по достижению континуума общественно значимых результатов в целях устойчивого развития. Эти результаты служат главным системообразующим фактором формирования функциональных (саморазвивающихся) систем [1], а упомянутые механизмы являются основой формирования саморегуляции деятельности субъектов экономики [2]. Как сказал В. Д. Адрианов: «В современном рыночном хозяйстве именно государство превращается фактически в мозговой центр, который путем создания функциональных экономических систем на различных уровнях регулирует формирование рыночной среды и обеспечивает динамизм и устойчивость экономического развития» [2].

Информационно-аналитическое обеспечение задач регионального развития, требующих специальных знаний, выходящих за пределы компетенции органов исполнительной власти края, осуществляется с привлечением интеллектуального потенциала экспертного сообщества академической, вузовской, прикладной науки и консалтинговых предприятий, обслуживающих бизнес. Создание соответствующих информационных ресурсов, сервисов и средств инфокоммуникации, как правило, связано с актуальными, долгосрочными и интеллектуально емкими задачами комплексного стратегического и территориального планирования. Большая часть этих задач относится к разряду проблемных и требует не только коммуникации типа информационного обмена, но и коммуникации понимания [3]. Это стимулирует применение и развитие методов коллективного решения проблемных задач [3; 4] для нужд комплексного планирования и стратегического управления [5], что, в свою очередь, приводит к необходимости применения новых как информационных, так и интеллектуальных технологий координации деятельности субъектов регионального развития, в институализации которых заинтересованы и власть, и общество [6].

Методологические инструменты. Разработка интенсивных методов и институциональных механизмов реше-

ния проблемных задач регионального развития выполнена на основе двух методологических подходов: системно-мыследеятельностном (СМД-методология) [3] и теории функциональных (саморазвивающихся) систем (ТФС-методология) [1]. Выбор определяется тем, что эти взаимодополняющие подходы со значительной областью перекрытия позволяют согласованно рассматривать структурно-функциональную организацию инфраструктуры экономики и системы жизнеобеспечения и институциональную организацию видов деятельности, задающих и реализующих долгосрочные перспективы развития.

Коллектив исследователей, объединившихся вокруг комиссии по психологии мышления и логике Всесоюзного общества психологов, и коллективы сотрудников НИИ общей и педагогической психологии АПН СССР и МО-ГИФК, проводящих исследования по теме «Анализ техники решения сложных проблем и задач в условиях неполной информации и коллективного действия», разработали методику решения коллективного решения проблемных задач, которая получила название организационно-деятельностных игр, или ОДИ. За время исследований с июля 1979 г. по сентябрь 1983 г. под руководством Г. П. Щедровицкого было проведено 29 «больших» ОДИ [3]. СМД-методология, предложенная Г. П. Щедровицким [3; 4] и развиваемая его последователями (см. материалы сайта «Школа культурной политики»: <http://www.shkp.ru>), является удобным инструментом анализа и моделирования (реконструирования и прогнозирования) поведенческих особенностей систем, складывающихся в процессе человеческой деятельности.

Анализ политики стратегического и территориального развития регионов России и инновационных интеллектуальных и информационных технологий управления этим развитием с позиций СМД-методологии проведен в [5]. Это позволяет в рамках настоящей работы более подробно обсудить частные вопросы применения организационно-деятельностных методов и развития институциональных механизмов проблемных задач регионального развития.

В основе системного подхода к методологии организации и поддержания процесса коллективного решения проблемных задач (задач, не имеющих известных алго-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 09-07-98002-р_сибирь_a).

ритмов и методов решения) лежит так называемая «трех-слойка мыследеятельности» (рис. 1), т. е. три стадии [4]:

– коллективная работа в различных предметных группах (нижний ряд);

– самостоятельная работа по пониманию в терминологии предметной группы в проекции на инструменты мышления отдельного индивида (верхний ряд);

– коммуникация представителей двух групп, направленная на понимание в терминах собеседника (средний ряд) для целей совместного достижения результата.

Особое внимание уделяется именно организации продуктивной коммуникации понимания. Для этого создаются специальные организационные условия и применяется психотехника организационно-деятельностных игр. В зависимости от масштабов и типа задачи могут применяться и другие техники, мозговой штурм, проблемный семинар и др. Разберем применение системного подхода на примере.

Обычно для решения комплексной проблемной задачи формируются группы (рис. 2):

1. Заказчик (заказчик или его представители). Это самое высшее звено в иерархии власти-управления из числа участников ОДИ, лицо, которое отвечает за решение проблемной задачи в целом («большой белый человек»).

2. Позиционеры: 1) группы представителей социальных субъектов, рассматривающих решение проблемной ситуации как существенное для своей жизнедеятельности; 2) группы экспертов, способных задать позицию или поведение внешних, недостающих социальных субъектов или погрузить участников ОДИ в необходимые предмет и тематику, раскрывающие суть объектов, ресурсов и процессов, значимых для поиска возможных решений проблемы. Они показаны во внутреннем круге (рис. 2), и между группами показаны коммуникативные разрывы – проблемы коммуникации понимания, порожденные существующими в их сознании и знаниях различиями в

системах ценностей, социальных, производственных и интеллектуальных технологий («белые люди поменьше»).

3. Методологи-игротехники – группа специалистов психотехников и организаторов. Их основные задачи: 1) удержать группы позиционеров в рамках целевых установок на общий значимый для заказчика результат; 2) оказать содействие в налаживании межгрупповой коммуникации понимания; 3) фиксировать прецеденты и варианты решений; 4) обеспечивать необходимую участникам рефлексии и релаксацию («черные люди»).

4. Руководитель-организатор ОДИ – одновременно удерживает целевые установки заказчика и реализует их через организацию работы игротехников («черно-белый человек»), кроме того, обеспечивает необходимые заказчику мониторинг хода ОДИ и оценку предлагаемых решений.

После лекций «накачки» и погружения в проблемную область, сформированные по темам, интересам и специализации группы позиционеров, стратифицируются на «консерваторов», «новаторов», «реализаторов». Стратификация происходит или спонтанно, или производится с участием игротехников. Их основные роли представлены на рис. 3. Первый шаг к преодолению барьеров межгрупповой коммуникации делают «реализаторы» – те позиционеры, которые на время ОДИ определились в качестве лиц, обеспечивающих реализацию возможных вариантов решений. Их дополнительно могут объединить в одну группу. Для снижения психологических барьеров коммуникации формирование групп позиционеров осуществляется укрупненно под тематику ОДИ, а не по профессиональным или социальным признакам. Названия группам зачастую даются широкие и утрированные, позволяющие снять с участников внутренние зажимы и формировать требуемые логикой ОДИ группы позиционеров из участников различной специализации и социальной принадлежности (рис. 4). Для этих же целей в процессе ОДИ группы пози-

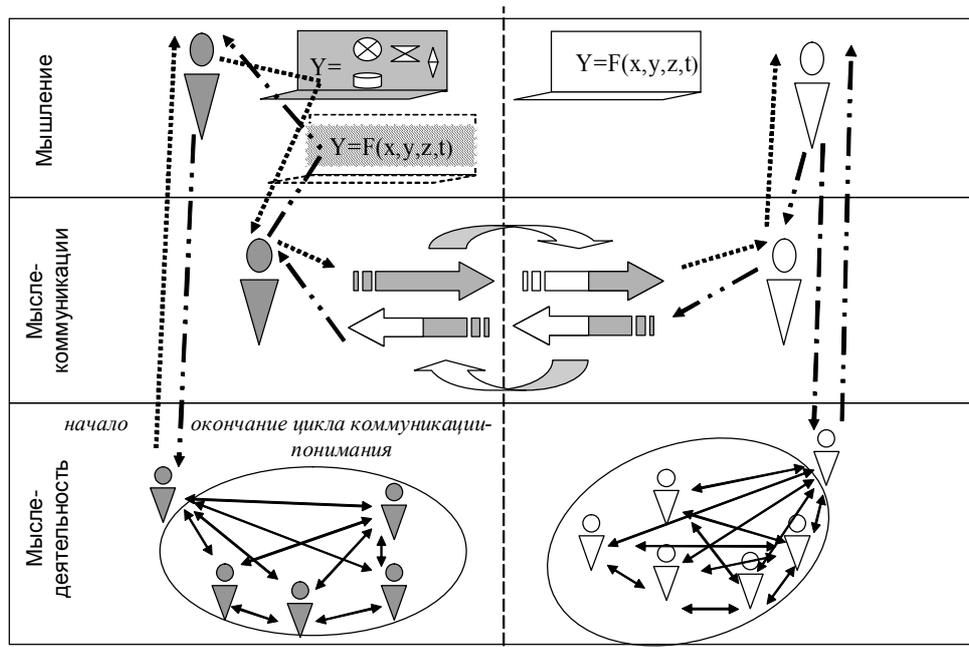


Рис. 1. Схема коммуникации и понимания двух экспертных групп различной специализации, возникающая в процессе коллективного решения общей проблемной задачи

ционеров могут переопределяться (рис. 5), неизменно общей остается группа реализаторов, но ее состав может меняться, если этого требует ожидаемый результат.

Снятию проблем коммуникации понимания в ОДИ уделяется много внимания, но основная задача – создать силами всех ее участников искусственную модель проблемной задачи, т. е. организационно-деятельностную

модель среды и социальных субъектов, действующих в проблемном поле, и, самое главное, сформировать из числа самоопределившихся на решение проблемной задачи позиционеров функциональную саморазвивающуюся систему – мыследействительную машину, мотивированную на получение ожидаемого заказчиком результата (рис. 6). При подготовке схемы была использована

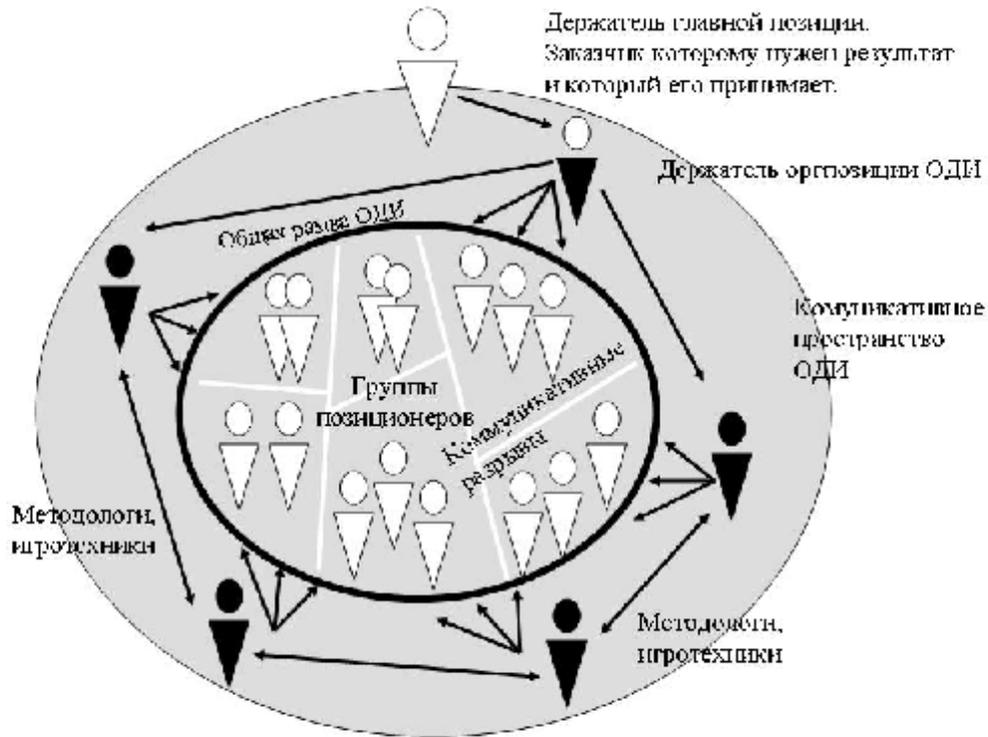


Рис. 2. Начальная стадия

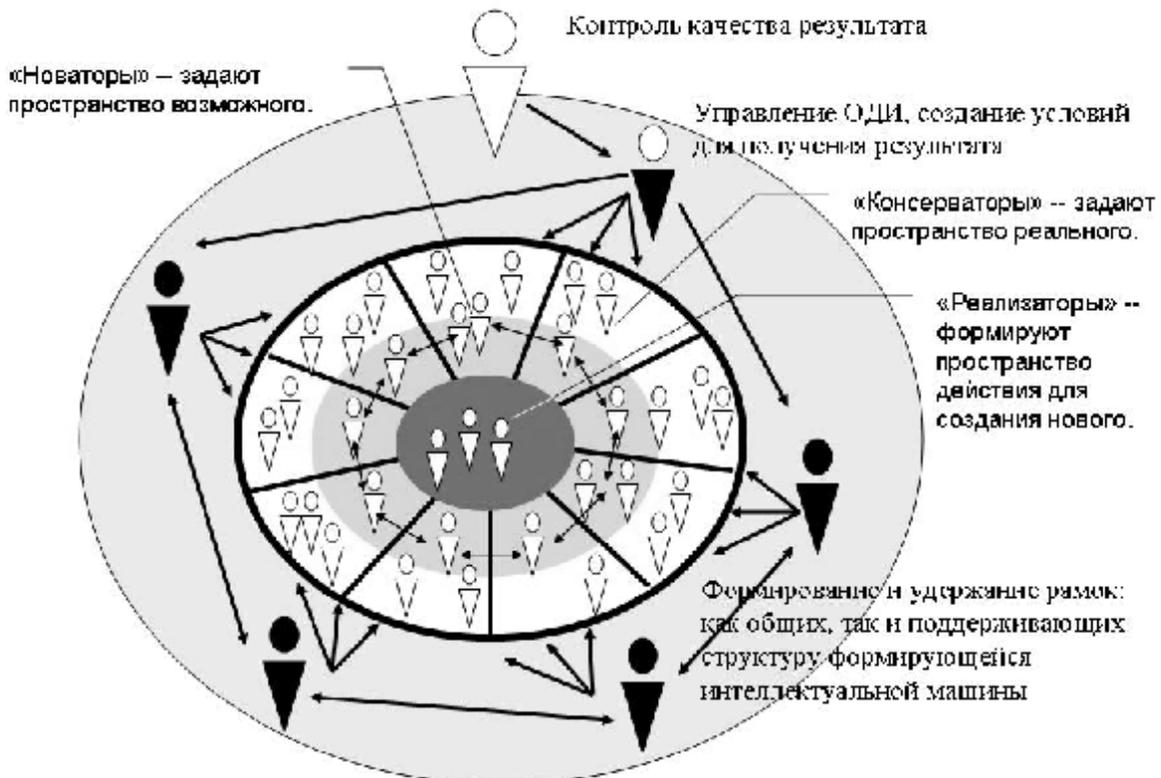


Рис. 3. Стадия формирования

терминология теории функциональных систем (ТФС-методология) [1] и методологии системомыслительности (СМД-методология) [4].

Успех ОДИ зависит от полноты и качества искусственной модели, как информационной, так и организационной, от адекватности модельного поведения искусственно

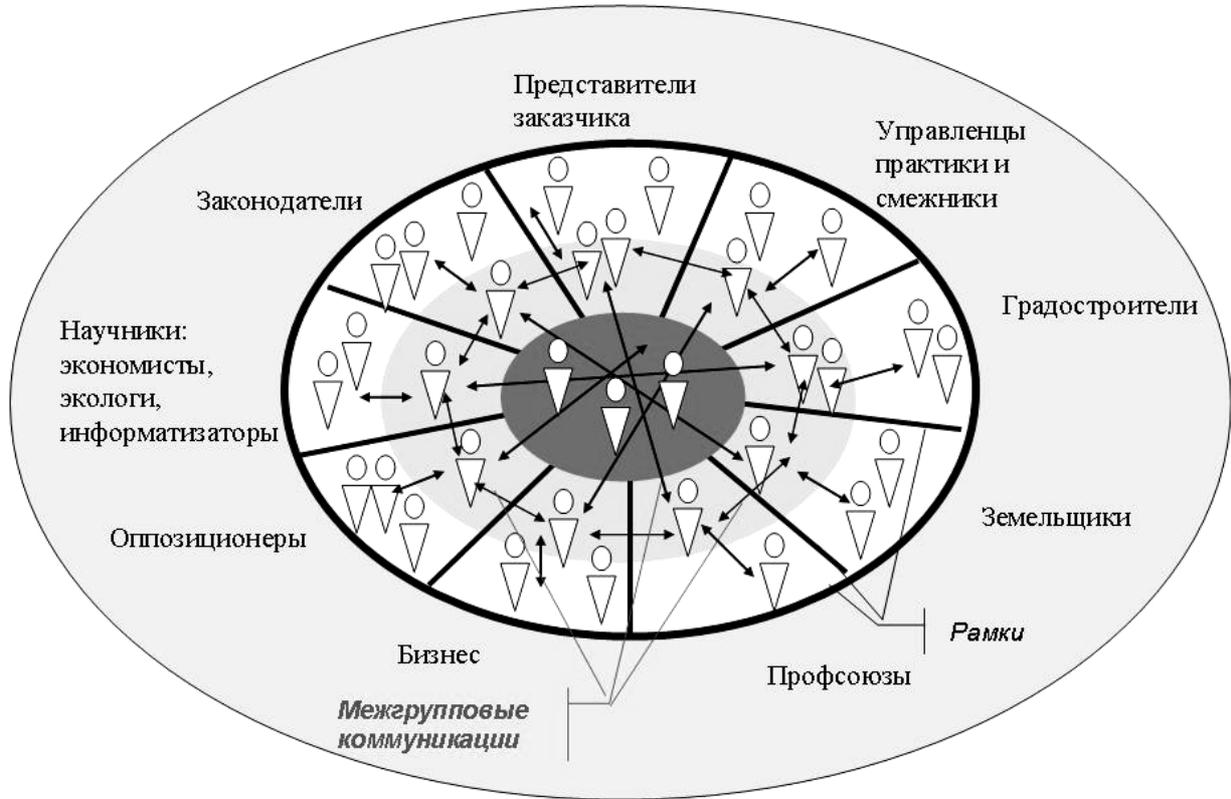


Рис. 4. Пример формирования групп для ОДИ «Управление природными ресурсами и экологическими ценностями»

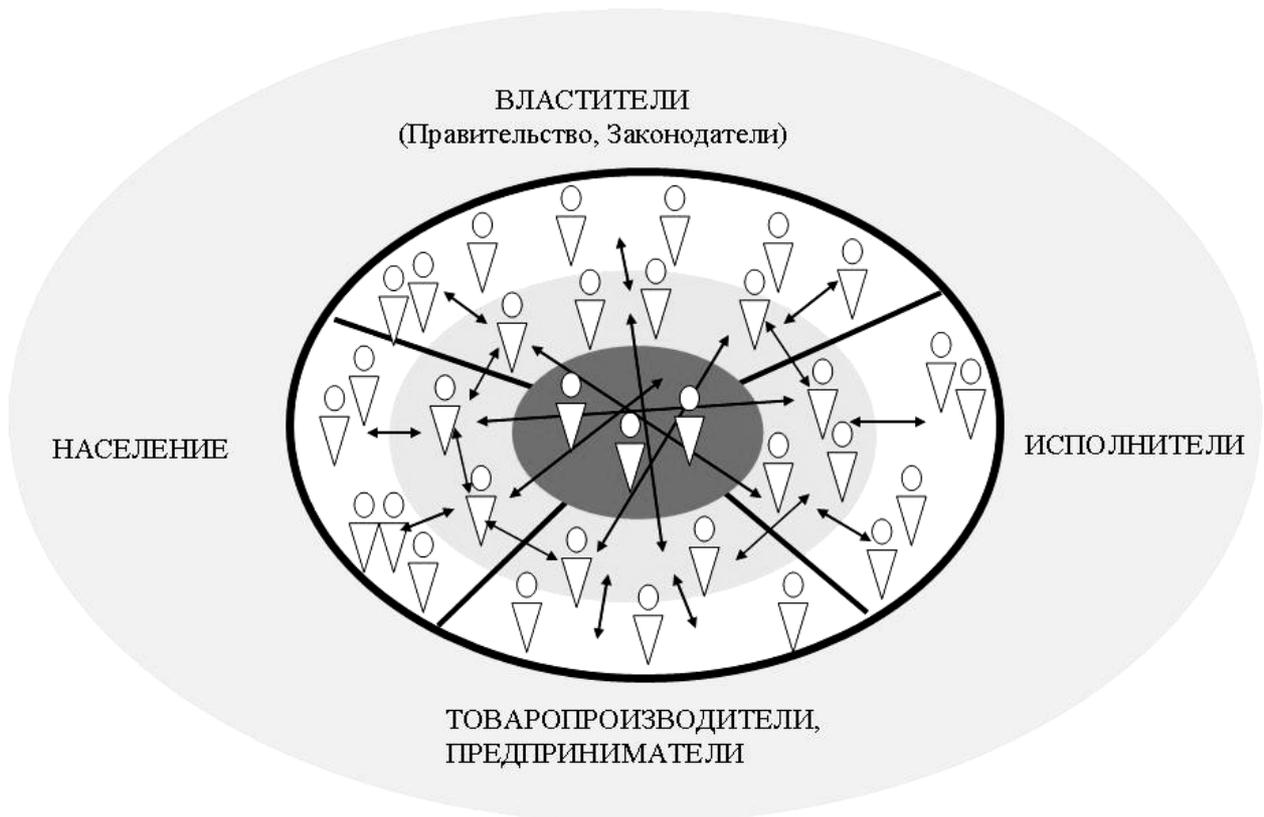


Рис. 5. Пример преодоления межведомственных разрывов и организации взаимодействия через ролевое переопределение участников и структурно-функциональную реструктуризацию ОДИ

воспроизведенных социальных субъектов (их роль играют группы позиционеров), от нацеленности и уровня мотивации участников игры на ожидаемый результат. Средствами методологии и технологии ОДИ в искусственно созданном пространстве коммуникации происходит самосборка позиционеров в саморазвивающуюся систему.

Структурно-функциональная организация системы (рис. 6) соответствует архитектонике функциональных систем П. К. Анохина [1]. Внешние условия, стимулирующие и интенсифицирующие процесс системогенеза этой функциональной (саморазвивающейся) системы создают игротехники. Они стимулируют опережающее создание необходимых структурно-функциональных конструкций из участников ОДИ, удерживают границы их интеллектуальной деятельности, задают систему ценностей, «подогревают» мотивацию. Сложившаяся в результате этих действий функциональную систему в практике ОДИ часто называют «интеллектуальной машиной», что отражает, с одной стороны, естественную свободу и волю носителей интеллекта, с другой – искусственный, психотехнический характер конструирования организационно-деятельностной структуры ОДИ и соорганизации деятельности ее участников на достижение совокупного результата как суммы индивидуальных.

Возможности практического приложения. Существенным обстоятельством приведенной методологической схемы является ее ориентация на проблемные задачи органов государственной власти. Поэтому для ее решения в ОДИ втягиваются и социальные субъекты от государственного и муниципального управления, и субъекты рыночной экономики и населения, и экспертные группы. Поскольку в процессе этого типа ОДИ формируются потенциальные исполнители удачных решений, то в слу-

чае их действительной реализации основные субъекты этой реализации смогут лучше понимать друг друга, им легче будет обеспечить необходимую коммуникацию и организацию на практике.

Возможны и ОДИ специального типа, нацеленные на интенсивную подготовку кадров, проблематизацию потенциальных участников решения проблемных задач, смену социальных статусов, расширение спектра социальных и интеллектуальных технологий, необходимые для преодоления кризисных ситуаций и формирования адекватных институциональных механизмов.

Поскольку ОДИ является интенсивным (короткоживущим) институтом коммуникации понимания, то в реальной практике управления его целесообразно дополнять механизмами, продлевающими и (или) закрепляющими его последствие. Например, применять с использованием региональной инфокоммуникационной инфраструктуры мониторинга и планирования. Это позволяет органам государственной власти следующее:

- дополнить существующие средства административной коммуникации информационного обмена новыми средствами коммуникации понимания, которые необходимы для решения проблемных задач регионального развития [6], и средствами фиксации удачных решений в государственных информационных ресурсах, например, в прогнозно-плановых документах [7];
- создать институциональные условия, сформировать информационные ресурсы и сервисы самоорганизации негосударственных субъектов, действующих в интересах социально-экономического развития региона, и, тем самым, повысить эффективность механизмов экономической саморегуляции [2].

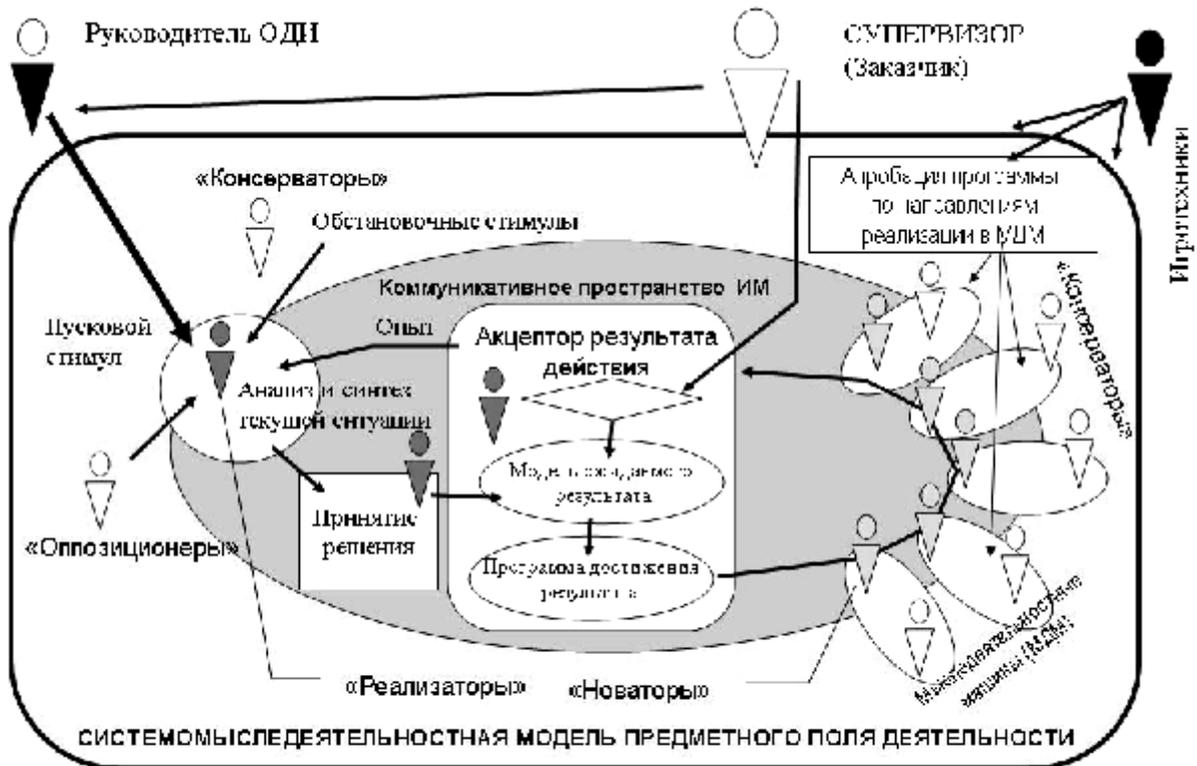


Рис. 6. Формирование средствами ОДИ функциональной (саморазвивающейся) системы из числа самоопределившихся на решение проблемной задачи позиционеров

Формирование институциональных механизмов, использующих легитимные информационные ресурсы органов власти, региональную инфокоммуникационную инфраструктуру и новые интеллектуальные технологии коллективного решения проблемных задач, создает пространство самоопределения и проектирования, актуальное для всех субъектов бюджетной и рыночной экономики, поскольку является условием их осмысленных и оперативных действий в условиях текущего системного кризиса и конкурентной среды. Необходимость комплексного решения масштабных проблем стимулирует формирование иерархии государственных, региональных, муниципальных и частных планов развития, порождает потребность согласования и учета интереса «третьих лиц» и способствует спонтанной координации деятельности субъектов экономики.

Таким образом, органы государственной власти, организуя и нормативно обеспечивая эти спонтанно складывающиеся процессы, получают возможность создания институциональных механизмов саморегуляции деятельности субъектов экономики [2], социализации как государственных, так и частных планов развития, результаты которых и служат главным системообразующим фактором формирования региона как функциональной (саморазвивающейся) системы [1].

Библиографический список

1. Анохин, П. К. Философские аспекты теории функциональной системы. Избранные труды / П. К. Анохин. М. : Наука, 1978.
2. Адрианов, В. Д. Эволюция основных концепций государственного регулирования экономики (от теории меркантилизма до теории функциональных экономических систем) [Электронный ресурс] / В. Д. Адрианов. Режим доступа: <http://viperson.ru/wind.php?ID=269185&soch=1>. Загл. с экрана.
3. Щедровицкий, Г. П. Избранные труды / Г. П. Щедровицкий. М. : Шк. культ. политики, 1995.
4. Щедровицкий, Г. П. Философия. Наука. Методология / Г. П. Щедровицкий. М. : Шк. культ. политики, 1995.
5. Щедровицкий, П. Г. Технологии регионального планирования: от индустриальной к инновационной модели [Электронный ресурс] / П. Г. Щедровицкий // Компас промышленной реструктуризации. 2003. № 5(6). С. 15–16. Режим доступа: <http://www.shkp.ru/lib/publications>. Загл. с экрана.
6. Глазычев, В. Л. Стратегии территориального развития России (к технологиям общественно-государственно-го партнерства) [Электронный ресурс] / В. Л. Глазычев. Режим доступа: http://www.glazychev.ru/publications/doklady/2008-04-12_doklad_oprf_str.htm. Загл. с экрана.
7. Замай, С. С. Архитектура и региональные особенности реализации Государственной информационной системы мониторинга и планирования социально-экономического развития Красноярского края / С. С. Замай, В. В. Желиховская, Е. И. Миллер // Проблемы информатизации региона. ПИР-2007 : материалы X Всерос. науч.-практ. конф. (1–2 нояб. 2007, г. Красноярск) : в 2 т. Т 1 / отв. ред. Л. Ф. Ноженкова ; Сиб. федер. ун-т. Политехн. ин-т. Красноярск, 2007.

S. S. Zamay

INTENSIVE METHODS FOR THE PROBLEMS OF REGIONAL DEVELOPMENT

We discuss a possibility to use organization activity methods to solve by a collective the problems and how to use info communicational infrastructure and informational resources of government body in this activity. These methods are used to form institutional mechanisms for monitoring and complex planning. The mechanisms must be adequate to the needs of co organization of state and private activities for regional development.

Keywords: methodologies, organizational activity games, functional systems, regional administration, information systems.

© Замай С. С., 2009

С. С. Замай, В. В. Желиховская, Д. Х. Шалахина

СХЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ*

Обсуждаются вопросы использования схем территориального планирования для создания информационных систем, обеспечивающих возможность разработки планов регионального развития, согласованных на краевом и муниципальном уровнях.

Ключевые слова: региональное управление, территориальное планирование, градостроительство, пространственная экономика, геоинформационные системы.

Согласно документам Минрегионразвития схема территориального планирования субъекта РФ представляет собой один из инструментов управления комплексным развитием территорий, который создает пространственно-территориальную основу для реализации долгосрочной стратегии социально-экономического развития региона с учетом федеральных планов и программ развития. Схема регионального уровня задает условия, перспективы и ограничения пространственных аспектов развития, содержит сведения, необходимые для согласованной разработки региональных и муниципальных программ социально-экономического развития, и является конституирующим документом для разработки схем территориального планирования муниципального уровня.

Одна из главных функций региональной власти – регулирование экономики региона. Взаимодействие федеральных и региональных властей, а также различных межрегиональных ассоциаций экономического взаимодействия обеспечивает функционирование региональных экономик в системе национальной экономики. С этой точки зрения субъект РФ подобен российскому государству, но с ограниченными полномочиями. Соответственно, стратегическое и территориальное планирование его развития и их базовый и объединяющий информационный ресурс – схема территориального планирования – могут послужить основой развития системы управления комплексным развитием территории и позволяют:

- осуществлять скоординированно со всей системой территориально распределенных региональных органов государственного и муниципального управления планирование пространственных аспектов развития;

- обеспечивать возможность регулирования экономики, в том числе и через конституирование пространственных аспектов развития в документах обеспечения градостроительной деятельности и через механизм согласования документов стратегического, среднесрочного и текущего планирования.

Регионалистика эволюционирует в сторону повышения роли нематериальных целей и факторов экономического развития и перехода регионов на модель устойчивого «эколого-социальноэкономического» развития. Этот факт уже находит отражение и в официальных документах,

определяющих разработку схем территориального (градостроительного) планирования (Градостроительный кодекс и сопутствующие нормативно-распорядительные документы и стандарты).

Следует отметить, что практика комплексного планирования и формирования институциональных механизмов государственного регулирования и саморегуляции деятельности субъектов экономики в новых условиях устройства государственного управления еще не сложилась. Тем интереснее опыт Красноярского края – субъекта РФ, который справедливо именуют мини-Россией и экономисты-регионалисты, и экономгеографы, и политологи. Обсудим его с позиций создания программных средств введения схем территориального планирования уровня края и их использования в задачах территориального планирования. В крае разработка получила название «Геоинформационная система градостроительной документации (ГИС ГД) единой краевой информационной системы (ЕКИС) органов государственной власти и местного управления Красноярского края», и осуществляется она в рамках реализации Закона Красноярского края от 20.06.2006 г. № 19-4840 «О краевой целевой программе “О территориальном планировании края на 2006–2008 годы”» и постановления Правительства Красноярского края от 07.04.2009 № 175-п «Об утверждении долгосрочной целевой программы “О территориальном планировании Красноярского края на 2009–2011 годы”».

Общие положения. Красноярский край – это один из самых богатых минерально-сырьевыми и энергетическими ресурсами субъектов Российской Федерации. Географически в стране край занимает срединное положение и огромную территорию, отличается многообразием природных условий и многокомпонентностью хозяйственного комплекса. В советское время развитие промышленного и научно-технического потенциала края определялось задачами оборонного значения и освоения космоса, развития энергетики и в настоящее время не утратило своего значения. В новое время планируются крупнейшие в стране проекты энергетического, промышленного строительства: развитие гидроэнергетики (Эвенкийский энергоузел, каскад ГЭС на Ангаре), тепловой энергетики на базе энергетических углей КАТЭКа, круп-

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 09-07-98002-р_сибирь_а).

номасштабные нефтегазовые проекты, проекты добычи и переработки цветных металлов, лесных ресурсов. Создание красноярского авиатранспортного узла международного значения, строительство железной дороги в Тыву, в перспективе с выходом на Монголию, Китай и страны Азиатско-тихоокеанского региона (АТР), строительство Северо-Сибирской железной дороги интегрируют районы нового ресурсного освоения края в национальную и мировую экономику. Енисейский транспортный коридор, выводящий на Севморпуть и нефтеносные шельфы, глубоководные порты, заполярные аэропорты, Норильск и города-спутники с их развитой социальной и производственной инфраструктурой задают перспективы промышленного освоения Арктики. В целом, конкурентные преимущества края создают хорошие стартовые условия для перехода к постиндустриальному типу развития территории, что проявляется в стратегии и программах социально-экономического развития краевого и муниципального уровней. Пространственное развитие экономики требует не только развития производственной, транспортной, энергетической инфраструктуры, но и новых схем расселения, повышения привлекательности территорий в борьбе за инвестиционный и, главное, человеческий капитал развития.

Территориальное (градостроительное) планирование призвано обеспечить сбалансированное развитие инфраструктуры экономики и жизнеобеспечения в интересах нынешних и будущих поколений [1]. Его результат – схемы территориального планирования – системообразующий документ обеспечения градостроительной деятельности на соответствующей территории. Они являются основой разработки схем территориального планирования муниципального уровня в части согласования с региональными и федеральными стратегиями развития. Стратегическая значимость, информационная содержательность, многообразие функционального назначения и легитимность этого документа позволяют сделать его инструментом комплексного планирования.

В силу высокой динамики, масштабности и влияния результатов развития экономики Красноярского края на пространственную организацию региональной инфраструктуры хозяйства и муниципальных систем жизнеобеспечения, схема территориального планирования становится «активным документом», который и определяет условия пространственного развития, и сам подлежит корректировке в соответствии с результатами и новыми планами этого развития.

Схема территориального планирования Красноярского края. Создание схем территориального планирования определено Градостроительным кодексом. Схемы задают 30-летний горизонт пространственного развития территории и составляют картографическую основу информационных систем обеспечения градостроительной деятельности. В них на картах различного масштабного ряда (от обзорных до детальных фрагментов) выполняется привязка социально-экономической базы к конкретным зонам и точкам развития, зонирование территории по инженерно-строительным условиям, транспортной доступности, оценке качества земель для сельского хозяйства, рекреации и другим факторам. В случае Крас-

ноярского края, схема – это более 200 картографических архитектурно-планировочных произведений и несколько томов сопроводительных документов, разработку которых осуществляет РосНИИУрбанистики (г. Санкт-Петербург). Карты схемы имеют высокую степень содержательной нагруженности. Так, например, карта комплексной оценки территории Красноярского края содержит более 150 слоев геоданных ArcGIS.

Анализ таких карт требует специальной подготовки и времени. Они в основном ориентированы на специалистов в области градостроительства, проектно-изыскательских и научно-исследовательских работ и содержат сведения, необходимые для решения задач стратегического социально-экономического планирования. Использование возможностей геоинформационных систем и средств анализа пространственных данных, структурирование информации в соответствии с логикой задач регионального управления, пообъектное представление векторных данных с возможностью анализа связанных документов и атрибутивных данных позволяют расширить круг пользователей. Пространственные аспекты присутствуют и в специализированном отраслевом, и сводном социально-экономическом планировании. При наличии развитых средств удаленного доступа ГИС, содержащая схемы территориального планирования, может стать основой формирования региональной системы комплексного планирования и обслуживать задачи согласования краевых и муниципальных планов пространственного развития.

В задачах комплексного планирования ситуация осложняется, поскольку одновременно необходимо анализировать карты различного тематического содержания. Дело не в том, что карты находятся в разных разделах тематических атласов и пояснительных документов. Эти карты зачастую содержат массу дополнительной графической и текстовой информации, облегчающей их индивидуальное прочтение, но затрудняющей их сопоставление и сводный анализ.

Карты межселенного обслуживания, динамики численности населения, экологических предпосылок промышленного развития в совокупности с картами транспортной доступности, схем расселения могут послужить основой решения задач отраслевого планирования, например, размещения объектов социальной инфраструктуры, оптимизации зон обслуживания медицинских учреждений и др. Собственной тематической информации на этих картах не так много, но она представлена по-разному:

- на карте межселенного обслуживания существенным объектом анализа являются населенные пункты (центры оказания услуг, размером окружности которых показана их значимость, а цветом выделены доноры и акцепторы) и площадные объекты (две категории зон доступности межселенного обслуживания);
- на карте динамики населения населенные пункты также являются существенным объектом анализа, а динамика численности представлена цветом (красным – положительная, желтым – близкая к нулю, голубым – отрицательная);
- на карте экологических предпосылок размещения производств можно найти границы зоны опережающего

развития федерального и краевого значения, резервные площадки размещения, зоны туризма, рекреации и заповедников, символы, показывающие рекомендуемый тип промышленности и др.

Выделив главное и преобразовав данные к виду, пригодному для совместного пространственного анализа, можно повысить эффективность решения задач отраслевого, комплексного планирования и согласования схем территориального планирования и программ социально-экономического развития. Это существенно позволяет экономить силы, средства и время в масштабах края, где более 60 муниципальных образований – первого уровня и более 550 – второго.

Эти карты, как и многие другие входящие в состав схемы информационные ресурсы, представляют интерес для научных исследований и могут быть использованы как легитимная основа общественной экспертизы социально значимых инвестиционных проектов промышленного развития и градостроительства.

В задачах согласования схем территориального планирования уровня края и уровня муниципальных районов потребуется сопоставлять выполненные различными проектными организациями карты-схемы различного масштабного ряда: уровня края, макрорайона, муниципального района, города, поселения. Значимость согласованного планирования в Красноярском крае определяется не только федеральным значением проектов пространственного развития экономики, но и их высокой динамикой и социальной значимостью, существенно меняющей и даже переопределяющей жизненный уклад, условия функционирования муниципальных систем жизнеобеспечения, развития местной промышленности, среднего и малого бизнеса.

Задачи распределенной подготовки, систематизации, многократного и многоаспектного использования схем территориального планирования уровня края в системе электронного правительства края требуют разработки региональных стандартов формирования краевых государственных информационных ресурсов пространственных аспектов планирования, а также разработки регламентов информационного взаимодействия субъектов планирования регионального и муниципального уровня.

Региональные особенности и требования к ГИС ГД. Особенности регионального развития Красноярского края влияют на специфику задач комплексного планирования. Отметим наиболее существенные, которые целесообразно учитывать при разработке систем информационно-аналитической поддержки деятельности органов государственной власти в управлении комплексным развитием территорий.

Регион – это крупный субъект собственности и экономической деятельности. В таком качестве субъекты РФ становятся участниками конкурентной борьбы на рынках товаров, услуг, капитала. Красноярский край как экономический субъект взаимодействует с национальными и транснациональными корпорациями в задачах развития Нижнего Приангарья, освоения нефтяных и газоконденсатных, золотоносных, угольных и других месторождений, при этом край конкурирует с другими регионами за трудовые ресурсы, федеральные и частные инвести-

ции. Используемые для разработки и реализации приоритетных инвестиционных проектов механизмы государственно-частного партнерства требуют согласованного планирования, и схемы территориального планирования могут и должны стать одним из его инструментов. Государство и его институты после запуска проектов федерального значения переходят в режим мониторинга региональной экономики, регулирования деятельности ее субъектов, контроля эффективности и целевого назначения использования инвестиций.

Необходимость этих действий и значение схем территориального планирования в их обеспечении особенно ярко проявляется в макрорайоне промышленного развития – Нижнем Приангарье, которое Минрегионразвития определило федеральной зоной опережающего развития в категории «добыча природных ресурсов». И правительство края, и бизнес, и органы местного самоуправления заинтересованы в диверсификации экономики, формировании основ развития новой многоукладной экономики. Это нашло отражение в принятой в Красноярском крае концепции градостроительного развития Нижнего Приангарья, основные положения разработки которой следующие:

1. Формирование согласованной территориальной проекции:

- государственной региональной политики;
- федеральных программ;
- рационального природопользования и охраны окружающей среды;
- инвестиционных проектов крупного и среднего бизнеса;
- краевых целевых и ведомственных программ;
- муниципальных программ.

2. Комплексный подход к управлению развитием территорий.

3. Согласование территориального планирования федерального, краевого, муниципального уровней.

4. Согласование пространственных аспектов программ социально-экономического развития края и муниципальных образований.

В соответствии с этим схема территориального планирования Нижнего Приангарья характеризуется следующими особенностями:

- 1) она базируется на комплексном анализе экономики и согласована с программами федерального, краевого уровня и проектами национальных ФПГ;
- 2) детализована до уровня узлов промышленного развития и соответствующих схем расселения, построенных с учетом муниципальных программ социально-экономического развития и инвестиционных проектов бизнеса;
- 3) обеспечивает пространственно-временную организацию и оптимизацию проектов развития, которая представлена на взаимоувязанных схемах ресурсного, инфраструктурного и градостроительного обеспечения.

На практике в зоне промышленного освоения Нижнего Приангарья под давлением рыночных интересов в основном решаются первоочередные вопросы повышения конкурентоспособности крупного бизнеса путем развития государственной инфраструктуры. Для того чтобы региональная экономика (средний и малый бизнес) и

муниципальные системы жизнеобеспечения развивались не на фоне реализации этих крупномасштабных проектов, а вместе с ними, необходимы механизмы согласования планов стратегического (социально-экономического) и территориального (градостроительного) развития краевого и муниципального уровня. Поэтому схемы территориального планирования Красноярского края, схемы территориального планирования Нижнего Приангарья и соответствующие стратегии социально-экономического развития должны стать документами, являющимися основой для документов муниципального уровня, задающими перспективы программ социально-экономического развития муниципальных образований и определяющими рамки разработки схем территориального планирования муниципального уровня.

Схемы территориального планирования Нижнего Приангарья – это более 50 карт, содержащих 20–100 и более слоев геоданных: физической, экономической географии, геологии, отраслевых кадастров (земельно-имущественные, лесные, водные, биологические ресурсы, природная и техногенная безопасность и др.), инженерной геологии и экологии, архитектурно-планировочных решений, демографии и схем расселения. Поскольку схемы – это нормативный документ обеспечения градостроительной деятельности на 30-летнюю перспективу, то они являются государственными информационными ресурсами стратегических задач планирования, которые должны обеспечивать согласованную деятельность субъектов социально-экономического планирования, градостроительства и бизнеса.

Ввиду большого объема и сложности схем уровня края и промышленного района Нижнего Приангарья, для решения этих задач на краевом уровне необходимо было сформировать информационный ресурс и обеспечить к нему доступ субъектам территориального и стратегического планирования муниципального уровня. Соответствующая задача решается посредством формирования информационных ресурсов и разработки программного обеспечения ГИС ГД. Планируется, что система должна быть интегрирована в состав ЕКИС органов государственной власти и местного самоуправления и должна стать поставщиком информационных ресурсов для Банка пространственных данных социально-экономического планирования администрации Красноярского края [2], введенного в опытно-промышленную эксплуатацию в 2007 г. На муниципальном уровне в качестве акцептора (приемника и хранилища схем краевого уровня) целесообразно использовать муниципальные информационные системы обеспечения градостроительной деятельности, создание которых предусмотрено Градостроительным кодексом и Постановлением правительства РФ от 9 июня 2006 г. № 363 «Об информационном обеспечении градостроительной деятельности».

Для обеспечения диверсификации экономики в зонах промышленного освоения Нижнего Приангарья и крупномасштабного привлечения трудовых ресурсов на территории существующих и вновь создаваемых поселений, схемы предусматривают создание предприятий-спутников и развитие инфраструктуры жизнеобеспечения. Поэтому соответствующие ведомственные и краевые целе-

вые программы и программы социально-экономического развития муниципальных образований должны быть согласованы между собой и со схемами территориального планирования муниципальных районов, городских округов и сельских поселений так, как это предусмотрено Градостроительным кодексом. В крае эта работа проводится, но наличие ГИС ГД может существенно понизить ее трудоемкость и сократить время и число ошибок, обеспечив субъектам отраслевого планирования на уровне края возможность доступа к схемам территориального планирования краевого и муниципального уровней.

В [1] отмечается целесообразность выстраивания новой структуры местного самоуправления (при самом активном участии градостроителей), основываясь на имеющихся или специальных стратегических территориальных разработках, так как только с их помощью можно обеспечить комплексный подход к эффективной организации местного самоуправления, обеспечению устойчивого социально-экономического развития муниципальных образований.

В Красноярском крае осуществляется работа по следующим направлениям:

- разработка долгосрочной программы социально-экономического развития Красноярского края и среднесрочных ведомственных программ;
- разработка схем территориального планирования Красноярского края и Нижнего Приангарья;
- разработка унифицированных муниципальных программ социально-экономического развития и их согласование с краевой программой;
- разработка схем территориального планирования муниципальных районов и городских округов.

Это позволяет выстроить не только новую современную методологию разработки градостроительной документации, отвечающую как принципам рыночной экономики, так и методам градостроительного регулирования [3], но и методологию разработки согласованного пространственного развития производственной, транспортной, энергетической инфраструктуры и инфраструктуры жизнеобеспечения.

Естественно, что стратегические планы социально-экономического развития должны предварять разработку схем территориального планирования, а краевые и ведомственные целевые программы и муниципальные программы социально-экономического развития должны обеспечивать их реализацию. Но в крае эти процессы идут одновременно. В этих условиях особенно остро встает вопрос о необходимости их согласования для снятия конфликтов интересов, предупреждения угроз и достижения синергетического эффекта от реализации различных проектных решений.

Уровень экономической и управленческой самостоятельности субъектов РФ таков, что они могут самостоятельно в рамках федеральных законов решать проблемы соотношения рыночного саморегулирования, государственного регулирования и социального контроля в соответствии с собственной стратегией развития и имеющимися для этого ресурсами. Красноярский край с его территорией и масштабами промышленного и транспортного развития остро нуждается не только в современ-

ных формах комплексного планирования, но и в новых механизмах организации деятельности субъектов экономики и государственного (муниципального) управления по реализации этих планов в интересах населения и будущих поколений. В этих условиях одной из задач создаваемой ГИС градостроительной документации может стать информационно-аналитическая поддержка новых институциональных преобразований, нацеленных на развитие нерыночной сферы производства и использование общественных благ, регулирование естественных монополий, защиту от негативных последствий частнопредпринимательской деятельности и т. п. Как минимум, для этих целей в составе ГИС ГД должны быть предусмотрены Интернет-решения, предназначенные для обеспечения публичности планов пространственного развития края.

На перспективу, наряду с созданием системы информационно-аналитических сервисов комплексного анализа и планирования, адекватных административной модели и задачам государственного и муниципального управления Красноярского края, целесообразно предусмотреть средства разработки и интеграции спектра информационно-вычислительных моделей по различным аспектам регионалистики, государственного и муниципального управления, экологии, социологии [4]. В части принципов исследования пространственной организации хозяйства применимы теоретические положения и практические рекомендации Августа Леша [5], а развитый российскими регионалистами методический и математический аппарат позволяет формализовать задачи пространственного анализа и выбора оптимальных схем размещения объектов региональной и муниципальной социально-экономической инфраструктуры [6]. Это создает хорошую основу и для разработки прикладных решений отраслевого планирования, и для моделирования вариантов пространственного развития экономики в различных сценариях формирования региональной инфраструктуры. Решить эти задачи в комплексе позволяют государственные информационные ресурсы – схемы территориального

планирования и программно-технологические решения, используемые для создания наукоемких информационных систем моделирования территориально распределенных объектов ресурсов и процессов [7].

Библиографический список

1. Щитинский, В. А. Стратегическое территориальное планирование – основа для проведения муниципальной реформы / В. А. Щитинский // Территориальное стратегическое планирование. На новом витке реформ. СПб : Леонтьевский Центр. 2005. Вып. 5.
2. Якубайлик, О. Э. Банк пространственных данных администрации Красноярского края / О. Э. Якубайлик [и др.] // Проблемы информатизации региона. ПИР-2007 : материалы X Всерос. науч.-практ. конф. (1–2 нояб. 2007, г. Красноярск) : в 2 т. Т. 1 / отв. ред. Л. Ф. Ноженкова ; Сиб. федер. ун-т. Политехн. ин-т. Красноярск, 2007. С. 188–195.
3. Щитинский, В. А. Градостроительная деятельность – важное условие устойчивого развития современной России / В. А. Щитинский // Мир строительства и недвижимости. 2005. № 9.
4. Шайдулов, В. В. Информационно-аналитическая система для поддержки принятия управленческих решений и обеспечения устойчивого развития региона на примере Красноярского края (проект) / В. В. Шайдулов [и др.] // Проблемы информатизации региона : тр. 3-й Всерос. конф. (25–27 нояб. 1997, г. Красноярск) ; Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 1998. С. 7–27.
5. Лёш, А. Пространственная организация хозяйства / А. Лёш. М. : Наука, 2007.
6. Гранберг, А. Г. Основы региональной экономики / А. Г. Гранберг. М. : Высш. шк. экономики, 2000.
7. Замай, С. С. Технологии и вычислительные модели территориально-ориентированных информационных систем регионального управления и природопользования (Красноярский край) / С. С. Замай, В. В. Шайдулов, О. Э. Якубайлик // Вычислительные технологии. Т. 8. Спец. вып., 2003. С. 57–69.

S. S. Zamay, V. V. Zhelikhovskaya, D. H. Shalahina

TERRITORIAL PLANNING SCHEMES OF KRASNOYARSK TERRITORY AND THERE PROSPECTS AS INSTRUMENTS FOR COMPLEX PLANNING

We discuss usage of territorial planning schemes for creation of information systems. These schemes support possibility to design plans of regional development which are coordinated at territorial and municipal levels.

Keywords: regional administration, territorial planning, town building, spatial economics, geoinformation systems.

© Замай С. С., Желиховская В. В., Шалахина Д. Х., 2009

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АНТИКРИЗИСНОЙ ПОЛИТИКИ В РОССИИ

Рассмотрены основные инструменты, формы, методы государственного регулирования рыночной экономики, антикризисные меры (инструменты антикризисного государственного регулирования экономики в период мирового финансового кризиса), принятые Правительством РФ в целях минимизации негативных последствий мирового финансового кризиса. Представлены основные макроэкономические показатели и некоторые прогнозы их динамики в России на ближайшие годы.

Ключевые слова: мировой кризис, государственное регулирование, макроэкономические прогнозы, антикризисные меры.

В современном обществе есть немало социально-экономических проблем, решение которых с помощью только рыночных инструментов невозможно, что предполагает активное использование государственных рычагов воздействия. Выбор инструментов государственного регулирования экономики, характера и форм их использования не может быть случайным. Инструментарий регулирования должен опираться на строго выверенное теоретическое обоснование выбранной стратегии и путей развития экономики. Общая направленность государственного регулирования экономики непосредственно определяется главными целевыми установками всей экономической политики и направлена на ее реализацию. Государство для реализации этих целей использует различные формы и методы, которые и представляют инструментарий государственного регулирования экономики, совокупность которых складывается в его механизм. При этом государство в своем арсенале имеет как методы прямого, так и косвенного воздействия на экономику.

Их различие, как известно, состоит в том, что методы прямого воздействия реализуются при непосредственной опоре на свой административный ресурс, тогда как косвенный метод регулирования реализуется только экономическими средствами, в ряду которых весомое место занимают меры в области налогово-бюджетной, денежно-кредитной, валютной, таможенной политики, государственного регулирования предпринимательства и др.

Налогово-бюджетная политика – важный инструмент для достижения макроэкономической стабилизации экономики. Манипулируя расходами государства и налогами, можно стимулировать деловую активность, в том числе воздействовать на безработицу и инфляцию. Однако недостаточно выверенное применение этого инструмента (чрезмерно высокие налоги, гипертрофированные размеры расходной части бюджета и пр.) превращает фискальную политику в фактор, дестабилизирующий экономику [1].

Весьма важной по значимости является денежная политика, поскольку изменяя общую денежную массу, государство может существенно влиять на цены, на инвестиционные процессы и потребление населения, объем производства и темпы экономического роста. Денежная политика, так же как и налогово-бюджетная, может служить средством как стабилизации, так и дестабилизации экономики. Без отлаженной оптимально выстроенной

денежной политики борьба с инфляцией обречена на неудачу [1].

Все инструменты проведения экономической политики тесно взаимосвязаны, не действуют изолированно от других, что требует при принятии решений в одной сфере взвешенно учитывать их влияние на другие. Правительство использует различные формы прямого и косвенного воздействия на экономические процессы в целях проведения одобренной соответствующими демократическими процедурами государственной политики.

В имеющихся научных публикациях, как и в специальных учебниках, отмечается целесообразность применения в рыночных условиях таких форм регулирования экономики со стороны государства, как непосредственное государственное управление рядом отраслей, объектов; налоговое регулирование, денежно-кредитное регулирование – воздействие на денежное обращение; бюджетное регулирование – распределение средств государственного бюджета по различным направлениям их использования; регулирование посредством формирования государственных программ и государственных заказов; ценовое регулирование; регулирование условий труда, трудовых отношений, оплаты труда; социальное регулирование (включая государственное социальное страхование); государственное регулирование охраны и восстановления окружающей среды; государственное антимонопольное регулирование; государственное внешнеэкономическое и валютное регулирование [2; 3].

В условиях радикально изменившейся системы экономических отношений, где государство перестало быть почти единственным собственником средств производства, оно и ныне фактически остается в центре экономического и социального развития страны, но уже не в качестве непосредственного предпринимателя страны, определяющего характер и темпы экономического роста, а как главный партнер, глобальный менеджер по отношению к другим субъектам рыночных отношений.

Государство воздействует на экономику, главным образом, посредством законодательных актов, регулирующих налоговую систему, выделения государственных инвестиций, субсидий, льгот, условий кредитования, реализации крупномасштабных социальных и экономических программ.

Кризис, как одна из фаз цикла в системе отношений воспроизводства, является тяжелым испытанием для эко-

номики любой страны, тем более для России, которая еще не завершила весь комплекс радикальных социально-экономических изменений на пути развития рыночных экономических отношений. Кризис можно рассматривать как диалектическое единство предела и стимула развития. С одной стороны, кризис выступает тормозом экономического развития, что выражается в падении цен, курсов акций, в сокращении производства, снижении занятости населения, падении рентабельности предприятий (как в сфере непосредственного производства, так и в сфере услуг). С другой стороны, во время кризиса закладываются основы восстановления нарушенных законов движения экономики и дальнейшего ее развития, перехода в новую фазу цикла воспроизводства. При этом стихийный рыночный механизм для разрешения существующих здесь противоречий в современных условиях глобализации экономики оказывает определенное позитивное влияние, но его арсенала средств оказывается крайне недостаточно для выхода из этой фазы в более сжатые сроки, с меньшими экономическими и социальными потерями для общества [4].

Как известно, впервые крупномасштабное антикризисное регулирование на государственном уровне проводилось в США в целях выхода из Великой депрессии 1930-х гг. Государственное антикризисное регулирование осуществлялось здесь по следующим направлениям: финансирование и субсидирование корпораций, стоящих на грани банкротства; принудительное картелирование предприятий; государственное регулирование оказавшегося в упадке сельского хозяйства; организация общественных работ и выдача пособий по безработице; кредитное регулирование.

Финансовый кризис – это реальность сегодняшнего дня для мировой экономики. Следует особо отметить, что мощным катализатором в очень сложный период этого глобального кризиса стала американская финансовая система [5].

В октябре–декабре 2008 г., когда мировой экономический кризис начал оказывать серьезное воздействие на российскую экономику, наше правительство начало реализацию антикризисных мер. Антикризисные меры первого этапа позволили не допустить разрастания кризиса, его перехода в формы, угрожающие основам функционирования экономики, предотвратили ее коллапс. Комплекс первоочередных мер, принятых Правительством Российской Федерации по борьбе с развертыванием мирового финансового кризиса, осуществлялись в следующих направлениях: курсовая политика, поддержка банковской системы, поддержка финансового рынка и защита российских предприятий от недружественных поглощений, налоговая и бюджетная политика, тарифная политика, содействие занятости населения, жилищное строительство и содействие гражданам на рынке жилья, поддержка деловой активности в реальном секторе экономики, нефтяная промышленность, автомобилестроение, сельхозмашиностроение, оборонно-промышленный комплекс, малый и средний бизнес, авиационные перевозки, розничная торговля, аграрно-промышленный комплекс, инфраструктурные проекты, организационное сопровождение реализации антикризисных мер [6].

Глобальный экономический кризис приводит во всех странах мира к падению производства, росту безработицы, снижению доходов населения, что усиливает социальную напряженность в стране, требуя от государства оперативного и достаточно эффективного позитивного решения этих проблем. Адекватной реакцией на эти проблемы явилось принятие Программы антикризисных мер Правительства Российской Федерации на 2009 г., где в определенной мере учитывалось мнение экспертов, граждан РФ, представителей партий, общественных и политических организаций. В ней отмечено, что Правительство будет с максимальной ответственностью подходить ко всем своим действиям, с тем чтобы не создавать в экономике неправильных стимулов, искажения мотивации предприятий и населения, подрывающих долгосрочные перспективы развития. Сохранится приоритет опоры в развитии экономики на частную инициативу, частный сектор экономики как важный фактор преодоления кризисных явлений. При этом предполагается, что роль государства будет постепенно снижаться по мере поэтапного выхода из кризиса.

Основными антикризисными мерами Правительства Российской Федерации и Банка России по оздоровлению российской экономики в 2009 г. станут следующие мероприятия [7]:

1. Направленные на усиление социальной защиты, сохранение и создание рабочих мест:
 - социальную защиту;
 - поддержку образования;
 - здравоохранение, физическую культуру и спорт.
2. Направленные на сохранение и повышение промышленного и технологического потенциала:
 - общую поддержку реального сектора и работу с системообразующими предприятиями:
 - поддержку системообразующих предприятий;
 - меры налогового стимулирования;
 - поддержку спроса;
 - содействие повышению доступности финансовых ресурсов;
 - поддержку отдельных отраслей экономики:
 - сельского хозяйства;
 - поддержку проектов автомобилестроения и сельскохозяйственного машиностроения;
 - обеспечение финансовой поддержки предприятий оборонно-промышленного комплекса;
 - транспортного комплекса;
 - жилищного строительства и ЖКХ;
 - лесопромышленного комплекса;
 - иных отраслей.
3. Направленные на снижение административного давления на бизнес:
 - снижение административных барьеров при осуществлении предпринимательской деятельности;
 - государственную поддержку малого и среднего предпринимательства.
4. Направленные на повышение устойчивости национальной финансовой системы:
 - расширение ресурсной базы и повышение ликвидности банковской системы;
 - повышение доступности банковского кредитования для предприятий реального сектора;

– санацию банковской системы.

5. Направленные на взаимодействие Правительства и субъектов Российской Федерации по реализации антикризисных мер:

- дотации на поддержку мер по обеспечению сбалансированности бюджетов субъектов Российской Федерации;
- расширение возможностей получения бюджетных кредитов.

В качестве одной из немногих позитивных сторон мирового финансового кризиса можно отметить, что он сыграл для России роль катализатора для реализации давно поставленных задач и проектов в области совершенствования налоговых отношений. В октябре и ноябре 2008 г. Федеральным Собранием РФ был принят ряд законов, реализующих антикризисную программу. Эти законы предусматривали как прямое, так и косвенное влияние на стабилизацию экономики страны и выход из кризисной ситуации. Реализация таких масштабных поправок в Налоговом кодексе РФ стала возможной в рамках широкой антикризисной политики. Заметим, что действенным стимулом здесь явилось обращение Президента РФ к Федеральному Собранию, где глава государства подчеркнул, что финансово-экономический кризис должен сыграть для России положительную роль, поскольку Россия обладает значительными средствами для антикризисных мер [8].

Основные параметры антикризисной экономической и социальной политики в РФ нашли конкретное отражение как в ряде уже принятых официальных документов различного уровня, в числе которых, например, подписанное Президентом РФ 26.05.2009 г. послание о бюджетной политике в 2010–2012 гг., так и в официальных заявлениях представителей руководства страны, включая Президента РФ, Премьер-министра РФ, руководителей различных министерств соответствующего вида деятельности.

Среди основных задач бюджетной политики страны на 2010–2012 гг. Президент РФ отметил следующие [9]: обеспечение исполнения социальных обязательств; ограничение размеров бюджетного дефицита в целях сохранения макроэкономической стабильности и устойчивости выполнения социальных обязательств; переход к режиму жесткой экономии бюджетных средств; определение оптимальных форм поддержки реального сектора экономики и финансовой системы, повышения энергоэффективности экономики и производительности труда; обеспечение кардинального повышения качества предоставления гражданам государственных услуг, модернизацию сети оказания услуг гражданам за счет бюджетных средств; усовершенствование механизмов государственных закупок; определение экономически оправданного уровня налоговой нагрузки и структуру налогов, соответствующих современной стадии развития российской экономики и стимулирующих развитие предпринимательства, поиск и применение передовых технологий; обеспечение сбалансированности расходных полномочий и ресурсов для их обеспечения на каждом уровне публичной власти, установление ответственности за неэффективное расходование средств, создание стимулов для расширения собственного доходного потенциала; завершение формирования надежной и сбалансированной пенсионной системы, основанной на страховых прин-

ципах ресурсного обеспечения и позволяющей обеспечить достойный уровень жизни гражданам старшего поколения; определение и реализация комплекса мер по созданию «безбарьерной» среды для инвалидов.

Основными направлениями совершенствования налоговых отношений на 2010–2012 гг. в Бюджетном послании являются следующие [9]: модернизация российской экономики и обеспечение необходимого уровня доходов бюджетной системы; структура и уровень налогообложения должны минимизировать искажающее и оказывать позитивное воздействие на структурные изменения в экономике, формировать комфортные условия для развития предпринимательской деятельности и инновационной активности; бизнес должен проявить высокую степень ответственности при выполнении обязанности по уплате налогов; в 2009–2011 гг. должна быть продолжена работа по оптимизации налоговой системы; требуется дополнительно проанализировать последствия повышения страховых взносов в системе пенсионного и медицинского страхования для финансового положения организаций и определить, возможно ли снижение налоговой нагрузки в целях смягчения потенциального отрицательного эффекта; начиная с 2010 г. необходимо увеличить в два раза предельный размер выручки, позволяющий применять упрощенную систему налогообложения (с 30 до 60 млн руб. в год); необходимо увеличить предельную величину процентов по долговым обязательствам, признаваемых расходами, в соответствии с текущими процентными ставками; установить временный специальный порядок работы с налоговой задолженностью организаций, позволяющий по заявлению налогоплательщика использовать все имеющиеся инструменты изменения сроков уплаты налога; целесообразно также развитие института изменения срока уплаты налогов и сборов (предоставление отсрочек, рассрочек, инвестиционного налогового кредита); требуется принять меры по мобилизации дополнительных бюджетных доходов и одновременному сокращению издержек, связанных с выполнением налоговых обязательств, в том числе за счет внедрения современных технологий налогового администрирования.

По данным на 1 апреля 2009 г. объем резервного фонда в нашей стране составлял 4,117 трлн руб., при этом Фонд национального благосостояния уменьшился на 1,6 % до 2,869 трлн руб., а уровень инфляции в России по данным Федеральной службы государственной статистики с начала 2009 г. составил 6,6 %. По оценкам Минфина РФ, прогнозируемые доходы субъектов России в 2009 г. по сравнению с прошлым упадут на 1,1 трлн руб., или на 18 %. Дефицит бюджета регионов придется в этом случае частично покрывать за счет федеральных средств [10].

Антикризисные меры правительства РФ по стабилизации экономики сработали оперативно, что подтвердил накануне председатель Счетной палаты Сергей Степашин на встрече с Премьер-министром РФ Владимиром Путиным, докладывая об итогах проверки расходования средств, выделенных на антикризисные мероприятия. «По итогам контрольных мероприятий можно сказать, что меры, которые предприняты правительством по стабилизации системы, сработали – повышена ликвидность

банков, стабилизировался ряд промышленных предприятий. Меры правительства сделали кредиты более доступными для экономики. Если в марте только порядка 25–30 % предприятий могли воспользоваться кредитами, то сейчас, с учетом снижения инфляции и ставки рефинансирования ЦБ, это уже 45 %. В целом, меры были оперативны, и это подтверждается нашей проверкой», – подытожил С. Степашин [11].

При этом «цель – снижение НДС – с повестки дня не снимается, что бы ни говорили отдельные чиновники. Это абсолютно точно. В настоящий момент происходит сжатие поступлений в бюджет (это реальный факт), причем довольно существенное сжатие. И в этой ситуации цена любой ошибки может быть очень и очень высокой. Никто из аналитиков не может точно спрогнозировать, к чему приведет снижение того или иного налога. Государство не намерено отказываться от возможности снижения налоговой нагрузки в подходящих для этого условиях. Вовсе не обязательно отказываться от этой идеи, вопрос в том, когда к ней переходить. В период кризиса с налогообложением нужно вести себя аккуратно», – заявил глава государства на встрече с членами партии «Справедливая Россия» [12].

Министр экономического развития РФ Эльвира Набиуллина, ожидает оживление в экономике к концу 2009 г. По ее словам, существует ряд факторов, которые позволяют с оптимизмом относиться к перспективам восстановления роста экономики: это восстановление внутреннего потребительского спроса и инвестиционного спроса. В свою очередь, рассуждая о мерах по выходу экономики из кризиса, министр указала на необходимость преобразований в российской налоговой системе [13].

По прогнозам замминистра финансов, статс-секретаря Минфина РФ Сергея Шаталова, налоговая нагрузка на бизнес в 2011 г. в результате замены единого социального налога (ЕСН) на страховые взносы возрастет примерно на 800–850 млрд руб. Правительство РФ в мае 2009 г. одобрило пакет законопроектов по упразднению ЕСН и его замене страховыми взносами с 2010 г. При этом было решено отложить до 2011 г. повышение ставки страховых выплат с нынешних 26 %, чтобы избежать чрезмерного увеличения финансовой нагрузки на бизнес в условиях кризиса [14]. Расходы федерального бюджета в 2010 г. в связи с заменой ЕСН страховыми взносами составят более 1,7 трлн руб., в дальнейшем они будут снижаться, сообщила глава Минздравсоцразвития Татьяна Голикова по итогам заседания правительства.

Согласно основному варианту прогноза падение валового внутреннего продукта (ВВП), по оценке Минэкономразвития, в 2009 г. составит 6 % (по предыдущему прогнозу – 2,2 %), а по пессимистичному сценарию – 7,4 %. Согласно последнему базовому прогнозу Минэкономразвития среднегодовая цена на нефть марки Urals в 2009 г. ожидается на уровне 45 долларов за баррель (предыдущий прогноз – 41 доллар за баррель). Инфляция при всех вариантах прогнозируется в 2009 г. на уровне 13 %, в 2010 г. – 10 %, в 2011 г. – 7–8 %, в 2012 г. – 5–7 %. Среднегодовой валютный курс в оптимистичном сценарии прогнозируется в 2009 г. на уровне 34,1 руб. за доллар, в 2010 г. – 35,4 руб., в 2011 г. – 36,5 руб., в 2012 г. – 37,3 руб. за доллар.

Экспорт, по прогнозу Минэкономразвития, в 2009 г. составит 260,4 млрд руб., а импорт по оценке министерства в 2009 г. будет колебаться в зависимости от сценария в пределах 198,2–206,8 млрд руб. [15].

С проблемами трудоустройства в 2009 г. могут столкнуться 100–150 тыс. российских выпускников. «Это большая цифра, и мы должны сделать все, чтобы эту проблему смягчить. В первую очередь, речь должна идти о стимулировании бизнеса к приему новых сотрудников», – заявил на встрече со студентами Хабаровского государственного университета Президент РФ Дмитрий Медведев [16].

По данным Минэкономразвития, падение ВВП России в 2009 г. может составить от 4 до 8 %. «Мы прорабатываем как пессимистичные, так и оптимистичные сценарии. Нам кажется, многое будет зависеть от того, насколько эффективно мы будем действовать. Минэкономразвития РФ пересмотрело свой прогноз по сокращению мирового ВВП с 0,3 до 1,4 %», – заявила Э. Набиуллина [17]. Падение объемов промышленного производства РФ по итогам 2009 г. может достичь 4,5–6 % – спрогнозировал министр промышленности и торговли РФ Виктор Христенко.

Особая роль в ряду антикризисных мер отводится поддержке малого и среднего бизнеса, что позволит, по расчетам специалистов, увеличить его вклад в ВВП РФ к 2012 г. в 1,5 раза – до одной трети ВВП, рост количества малых и средних компаний на 1 тыс. чел. на 15 % – до 11,4 компаний. «Такая динамика соответствует основной стратегической задаче в развитии малого и среднего предпринимательства до 2020 г. – приблизиться по основным показателям к экономически развитым странам мира, а именно: доля малых и средних компаний в ВВП не менее 40 %, доля занятых на малых и средних компаниях не менее 50 % занятого в экономике населения», – сообщила глава Минэкономразвития Э. Набиуллина на брифинге по итогам заседания Президиума Правительства [18]. Эти показатели являются целевыми индикаторами карты проекта «Развитие малого и среднего предпринимательства», одной из перечня проектов по реализации основных направлений деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2012 г., которая была рассмотрена на заседании президиума и в дальнейшем будет дорабатываться министерством.

Реалии современного уровня развития социально-экономических отношений в Российской Федерации, условия разрастающегося мирового экономического кризиса диктуют необходимость существенного повышения качества государственного регулирования экономических отношений. Одним из наиболее реальных путей достижения этой, несомненно, актуальной и важной цели является формирование и реализация продуманной, научно обоснованной государственной экономической политики. Следует отметить, что в настоящее время качество экономической политики в Российской Федерации в целом, а также ее отдельных составляющих элементов вызывают обоснованные нарекания как со стороны ученых, так и со стороны отечественного бизнес-сообщества, что требует дальнейшего совершенствования каждого из действенных инструментов в системе антикри-

зисных мер. При этом надо, с одной стороны, критически воспринимать накопленный в других странах соответствующий опыт, а с другой – полнее опираться на исследование соответствующих процессов и существующие рекомендации отечественных ученых и практиков.

Библиографический список

1. Кучуков, Р. А. Теория и практика государственного регулирования экономических и социальных процессов : учеб. пособие / Р. А. Кучуков. М. : Гардарики, 2004. С. 26–27.
2. Курс экономики : учебник / под ред. Б. А. Райзберга. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Инфра-М, 2006. С. 608–610.
3. Государственное регулирование рыночной экономики : учебник / под. общ. ред. В. И. Кушлина. 2-е изд., перераб и доп. М. : Изд-во РАГС, 2002. С. 57.
4. Борисов, Е. Ф. Экономическая теория : учеб. / Е. Ф. Борисов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ТК Велби : Изд-во Проспект, 2007. С. 409–414.
5. Суворов, А. В. Финансовый кризис: причины, условия возникновения и антикризисные меры / А. В. Суворов // Регламентация банковских операций. Документы и комментарии. 2009. № 1.
6. Перечень первоочередных мер, предпринимаемых Правительством Российской Федерации по борьбе с последствиями мирового финансового кризиса [Электронный ресурс] // Официальный сайт Правительства РФ. Режим доступа: <http://www.government.ru/content/governmentactivity/antikrizismeriprf/4782832.htm>. Загл. с экрана.
7. Программа антикризисных мер Правительства Российской Федерации на 2009 г. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Председателя Правительства РФ. Режим доступа: <http://premier.gov.ru/anticrisis/>. Загл. с экрана.
8. Лермонтов, Ю. М. Налоговые инструменты в борьбе финансовым кризисом / Ю. М. Лермонтов // Все для бухгалтера. 2009. № 3, 4.
9. Бюджетное послание Президента РФ о бюджетной политике в 2010–2012 гг. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Президента РФ. Режим доступа: http://www.kremlin.ru/appears/2009/05/25/1400_type63373_216772.shtml. Загл. с экрана.
10. Сайт ПРАЙМ – ТАСС. Агентство экономической информации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.prime-tass.ru/news>. Загл. с экрана.
11. Степашин, С. Антикризисные меры правительства РФ по стабилизации экономики сработали оперативно [Электронный ресурс] / С. Степашин // сайт ПРАЙМ – ТАСС. Режим доступа: <http://www.prime-tass.ru/news/0/{8D3B9BF6-7C9F-4C22-8A7E-F03B97CBE300}.uif>. Загл. с экрана.
12. Стенографический отчет о встрече с активом партии «Справедливая Россия» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Президента России. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/text/appears/2009/05/215.shtml>. Загл. с экрана.
13. Набиуллина, Э. Минэкономразвития РФ ожидает оживления в экономике к концу 2009 г. [Электронный ресурс] / Э. Набиуллина // сайт ПРАЙМ – ТАСС. Режим доступа: <http://www.prime-tass.ru/news/show.asp?id=884546&ct=news>. Загл. с экрана.
14. Высказывания С. Д. Шаталова информационным агентствам по итогам заседания правительственной комиссии по бюджетным проектировкам [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства финансов РФ. Режим доступа: <http://www.minfin.ru/ru/press/speech/index.php?id4=7366>. Загл. с экрана.
15. Прогноз роста экономики РФ [Электронный ресурс] // ER. ru. Первоисточник. Режим доступа: <http://www.edinros.ru/news/text.shtml?79385/100096>. Загл. с экрана.
16. 150 тысяч выпускников вузов не смогут трудоустроиться [Электронный ресурс] // Российское информационное агентство «Новый Регион». Режим доступа: <http://www.nr2.ru/society/233091.html>. Загл. с экрана.
17. Обзор СМИ за 18.05.2009 г., подготовленный Минэкономразвития России [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства экономического развития РФ. Режим доступа: <http://www.economy.gov.ru/wps/wcm/myconnect/economylib/mert/welcome/pressservice/review/doc1242627372897>. Загл. с экрана.
18. Тезисы выступления министра Э. С. Набиуллиной на заседании Президиума Правительства РФ 18 мая 2009 г. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства экономического развития РФ. Режим доступа: <http://www.economy.gov.ru/wps/wcm/myconnect/economylib/mert/welcome/pressservice/news/doc1242663218628>. Загл. с экрана.

A. N. Falaleev, V. A. Eremina

ON THE PROBLEM OF PERFECTION OF STATE ANTI-CRISIS POLICY TOOLS IN RUSSIA

The article overlooks the main tools, forms, and methods for the state regulation of the market economy. It features the anti-crisis measures (instruments of anti-crisis state economic regulation) taken by the Russian Government to minimize negative consequences of the world financial crisis. The main macro-economic indices, as well as some dynamic prognoses for Russia during the next few years are provided.

Keywords: world financial crisis, state regulation, macro-economic prognoses, anti-crisis measures.

© Фалалеев А. Н., Еремина В. А., 2009

Н. И. Денисова

ТЕНДЕНЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ПРЕДЛОЖЕНИЯ НА РЫНКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ В ОБЛАСТИ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Рассматриваются особенности предложения на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования Красноярского края. Проводится сравнительный анализ состояния рынка образовательных услуг Российской Федерации, Сибирского федерального округа и Красноярского края.

Ключевые слова: высшее профессиональное образование, региональный рынок образовательных услуг, высшие учебные заведения, профессорско-преподавательский персонал, формы обучения, стоимость обучения.

В условиях дальнейшего развития рыночных отношений во всех отраслях экономики страны, в том числе и в сфере образовательных услуг, учреждения, организации могут добиться успеха деятельности на рынке только при условии обладания достоверной, полной, своевременной информацией о состоянии и развитии рынка, особенностях его функционирования в соответствии с региональными тенденциями развития. В связи с этим изучение рынка, в частности рынка образовательных услуг в области высшего профессионального образования, представляет собой одно из важнейших направлений экономических исследований в современных условиях.

Целью проводимого исследования является изучение состояния и особенностей предложения на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования Красноярского края. Объектом исследования является рынок образовательных услуг Красноярского края.

Специфика рынка образовательных услуг в России зависит от территориального размещения вузов, демографической ситуации в регионе, экономических характеристик региона, политики государства в области высшего профессионального образования.

Сравнительный анализ численности студентов высших учебных заведений в Российской Федерации, Сибирском федеральном округе (СФО) и Красноярском крае в 1970/1971–2007/2008 учебных годах показал, что наблюдается скачкообразное развитие численности во всех регионах (табл. 1) [1; 2; 3].

В 1990–1996 гг. происходит снижение численности студентов вузов, что объясняется кризисной ситуацией в стране в этот период времени. В 2000/2001 учебном году происходит резкое увеличение контингента студентов в вузах как Российской Федерации (на 69,9 % по сравнению с 1995/1996 учебным годом), так и Сибирского федерального округа (на 70,3 %) и Красноярского края (на 59,6 %). Данная ситуация объясняется существенным расширением сети негосударственных вузов на территории всей страны и увеличением доли студентов, обучающихся на договорной основе в государственных вузах.

В период 2000/2001–2005/2006 учебные года наблюдается стабильный рост числа студентов, обучающихся в вузах во всех трех анализируемых регионах. В период с 2006/2007 учебного года по 2007/2008 учебный год рост числа студентов продолжается, за исключением Красноярского края, где произошло снижение численности сту-

дентов на 1,1 и 0,8 % соответственно, что составляет 1,4 и 1,1 тыс. чел. Это объясняется закрытием ряда филиалов на территории региона и уменьшением числа студентов, обучающихся на договорной основе в государственных вузах.

Проведенный анализ числа студентов, обучающихся в государственных (муниципальных) и негосударственных вузах, показал, что начиная с 1995/1996 учебного года наблюдается стабильный рост числа негосударственных вузов как по Российской Федерации в целом, так и в Сибирском федеральном округе и Красноярском крае, о чем свидетельствует рост численности студентов, обучающихся в них (табл. 2) [1; 2; 3].

Проведенный анализ свидетельствует о более высоких темпах роста численности студентов, обучающихся в негосударственных вузах Российской Федерации, по сравнению с Сибирским федеральным округом и Красноярским краем. Так, если доля студентов, обучающихся в негосударственных вузах Российской Федерации, колеблется от 4,9 % в 1995/1996 учебном году до 16,8 % в 2007/2008 учебном году, то по Сибирскому федеральному округу наблюдается рост данного показателя с 1,4 до 8,4 % соответственно и по Красноярскому краю – с 0,2 до 9,0 % соответственно. Таким образом, доля студентов, обучающихся в негосударственных вузах Российской Федерации, в 2007/2008 учебном году в 2 раза превышала аналогичный показатель по Сибирскому федеральному округу и в 1,9 раза больше данного показателя по Красноярскому краю.

Следует отметить, что если до 2005/2006 учебного года доля обучающихся в негосударственных вузах Красноярского края была ниже, чем в Сибирском федеральном округе, то начиная с 2005/2006 учебного года данный показатель в Красноярском крае стал опережать аналогичный показатель по Сибирскому федеральному округу: на 1,5 % в 2005/2006 учебном году, на 1 % в 2006/2007 учебном году и 0,6 % в 2007/2008 учебном году.

Рост численности студентов, обучающихся в государственных вузах Российской Федерации, Сибирском федеральном округе и Красноярском крае, также стабильно растет, за исключением снижения численности студентов в 2006–2008 гг. в Красноярском крае со 120,1 до 117,9 тыс. чел.

Анализ числа высших учебных заведений по Российской Федерации, Сибирскому федеральному округу и Красноярскому краю показал разноплановые тенденции

развития сети вузов в анализируемых регионах (табл. 3) [2; 3; 4].

В Российской Федерации наблюдается стабильный рост числа вузов на протяжении всего анализируемого периода. Если в 1995/1996 учебном году в Российской Федерации насчитывалось 762 вуза, то уже в 2007/2008 учебном году их число достигло 1 108 учреждений, увеличившись по сравнению с базисным периодом анализа на 45 %. Наиболее высокий темп роста числа вузов в Российской Федерации наблюдался в 2000/2001 учебном году (на 26 % по сравнению с 1995/1996 учебным годом). В последние годы наблюдается стабилизация темпов прироста числа вузов в стране, исключение при этом составляет 2005/2006 учебный год, характеризующийся незначительным уменьшением количества вузов в стране (на 3 учреждения или 0,3 %).

В Сибирском федеральном округе также наблюдается стабильный рост числа вузов – с 92 в 1995/1996 учебном году до 118 в 2006–2007 учебном году, в 2007/2008 учебном году происходит их снижение до 117. В Красноярском крае в 1995/1996 учебном году насчитывалось 13 вузов, к 2000/2001 учебному году число вузов в крае возросло до 16 образовательных учреждений, и их количество оставалось неизменным до 2007/2008 учебного

года, в котором произошло снижение на 3 образовательных учреждения. Сокращение числа государственных вузов на территории края в 2007/2008 учебном году объясняется реорганизацией ряда вузов (Красноярского государственного университета, Красноярского государственного технического университета, Красноярской государственной академии цветных металлов и золота, Красноярской государственной архитектурной академии) и их объединением в составе Сибирского федерального университета.

Рост числа вузов в Российской Федерации и в Сибирском федеральном округе при неизменном их количестве в Красноярском крае привело к снижению доли числа вузов края в общем числе вузов Российской Федерации с 1,7 % в 1995/1996 учебном году до 1,5 % в 2003/2004–2006/2007 учебных годах и до 1,2 % в 2007/2008 учебном году, а также в общем числе вузов Сибирского федерального округа с 14,1 до 13,6 % и 11,1 % соответственно.

Следует отметить, что на протяжении всего анализируемого периода вузы края были сосредоточены в г. Красноярске (92 %), за исключением одного – Норильского индустриального института, который находится в г. Норильске и предоставляет образовательные услуги в районе Крайнего Севера.

Таблица 1

Сравнительный анализ численности студентов высших учебных заведений в Российской Федерации, Сибирском федеральном округе и Красноярском крае в 1970/1971–2006/2007 учебных годах (на начало учебного года, тыс. чел.)

Учебные года	Российская Федерация		Сибирский федеральный округ		Красноярский край	
	Численность студентов	Темп прироста, %	Численность студентов	Темп прироста, %	Численность студентов	Темп прироста, %
1970–1971	2 671,7	–	357,6	–	45,9	–
1980–1981	3 045,8	114,0	435,2	121,7	60,8	132,5
1990–1991	2 824,5	92,7	417,7	96,0	62,0	102,0
1995–1996	2 790,7	98,8	393,8	94,3	60,2	97,1
2000–2001	4 741,4	169,9	670,5	170,3	96,1	159,6
2001–2002	5 426,9	114,5	755,3	112,7	107,5	111,9
2002–2003	5 947,5	109,6	822,5	108,9	118,6	110,3
2003–2004	6 455,7	108,5	869,7	105,7	122,6	103,4
2004–2005	6 884,2	106,6	898,9	103,4	124,7	101,7
2005–2006	7 064,6	102,6	916,2	101,9	132,0	105,9
2006–2007	7 309,8	103,5	938,9	102,5	130,6	98,9
2007–2008	7 461,0	102,1	951,0	101,3	129,5	99,2

Таблица 2

Сравнительный анализ численности студентов, обучающихся в государственных (муниципальных) и негосударственных вузах, по Российской Федерации, Сибирскому федеральному округу и Красноярскому краю (на начало учебного года, тыс. чел.)

Учебные года	Российская Федерация				Сибирский федеральный округ				Красноярский край			
	гос. вузы	доля, %	негос. вузы	доля, %	гос. вузы	доля, %	негос. вузы	доля, %	гос. вузы	доля, %	негосвузы	доля, %
1995–1996	2655	95,1	136	4,9	388,4	98,6	5,4	1,4	60,1	99,8	0,1	0,2
2000–2001	4271	90,1	470	9,9	642,5	95,8	28,0	4,2	94,4	98,2	1,7	1,8
2001–2002	4798	88,4	629	11,6	714,8	95,6	32,9	4,4	107,2	97,9	2,3	2,1
2002–2003	5229	87,9	719	12,1	780,2	95,1	40,2	4,9	113,0	96,5	4,1	3,5
2003–2004	5596	86,7	860	13,3	826,7	95,1	43,0	4,9	118,2	96,4	4,4	3,6
2004–2005	5860	85,1	1024	14,9	853,3	94,9	45,6	5,1	119,7	96,0	5,0	4,0
2005–2006	5985	84,7	1079	15,3	847,9	92,5	68,3	7,5	120,1	91,0	11,9	9,0
2006–2007	6133	83,9	1177	16,1	864,2	92,0	74,7	8,0	118,9	91,0	11,7	9,0
2007–2008	6208	83,2	1253	16,8	871,0	91,6	79,9	8,4	117,9	91,0	11,6	9,0

Анализ численности профессорско-преподавательского персонала в вузах Российской Федерации и Красноярского края показал тенденцию роста числа профессорско-преподавательского персонала как по Российской Федерации, так и по Красноярскому краю.

Так, численность профессорско-преподавательского персонала в вузах Российской Федерации составила в 2007/2008 учебном году 419,2 тыс. чел., что на 65,6 % больше данного показателя в 1995/1996 учебном году, а численность профессорско-преподавательского персонала в вузах Красноярского края увеличилась с 5,096 тыс. чел. в 1995/1996 учебном году до 7,502 тыс. чел. в 2007/2008 учебном году, т. е. на 47,2 %. При этом 89 % профессорско-преподавательского персонала в 2007/2008 учебном году работало в государственных вузах края и только 11 % – в негосударственных вузах региона.

Негативной тенденцией является снижение численности профессорско-преподавательского персонала в вузах в расчете на 1 000 студентов как по Российской Федерации, так и по Красноярскому краю. Если в 1995/1996 учебном году в расчете на 1 000 студентов в вузах Российской Федерации приходилось 90 преподавателей и в вузах Красноярского края – 85 чел., то уже в 2007/2008 учебном году данный показатель снизился до 56 и 58 человек соответственно.

Одним из направлений проводимых исследований являлось осуществление сравнительного анализа доли численности студентов высших учебных заведений в разрезе форм обучения по Российской Федерации и Красноярскому краю (табл. 4) [2–7].

Большая часть студентов вузов как по Российской Федерации, так и Красноярскому краю обучается по очной форме обучения. Однако в течение всего анализируемого периода происходит постепенное снижение доли

студентов, обучающихся по очной форме обучения: по Российской Федерации с 62,8 % в 1995/1996 учебном году до 47,9 % в 2007/2008 учебном году, по Красноярскому краю – с 64,3 до 52,9 % за аналогичный период времени. Следует отметить, что в Красноярском крае доля студентов, обучающихся на очной форме обучения, выше, чем по Российской Федерации: в 1995/1996 учебном году – на 1,5 %, в 2007/2008 учебном году – на 5,0 %.

Особенностью развития высшего профессионального образования в Красноярском крае является низкая доля студентов, обучающихся по очно-заочной (вечерней) форме обучения, по сравнению с Российской Федерацией: 2,8 % в 1995/1996 учебном году (ниже в 2,3 раза) и 1,8 % в 2007/2008 учебном году (ниже в 2,6 раза).

Доля студентов, обучающихся по заочной форме обучения, в Красноярском крае на протяжении анализируемого периода постепенно возрастает с 32,9 % в 1995/1996 учебном году до 41,8 % в 2007/2008 учебном году. Следует отметить, что доля студентов, обучающихся по заочной форме обучения в Красноярском крае за анализируемый период ниже, чем аналогичный показатель по Российской Федерации, например в 2000/2001 учебном году – на 1,0 %, в 2006/2007 учебном году – на 3,1 %, в 2007/2008 – на 3,3 %.

Одной из особенностей высшего профессионального образования в Красноярском крае является достаточно быстрое развитие такой формы обучения, как экстернат, по сравнению с Российской Федерацией. Так, в 1995/1996 учебном году в Красноярском крае по данной форме обучения студентов не обучалось, затем наблюдается стабильный рост числа студентов, обучающихся по форме экстернат в вузах края – с 0,1 % в 2000/2001 учебном году (данный показатель в 11 раз ниже, чем по Российской Федерации) до 3,5 % в 2007/2008 учебном году (дан-

Таблица 3

Сравнительный анализ числа высших учебных заведений и численности профессорско-преподавательского персонала по Российской Федерации, Сибирскому федеральному округу и Красноярскому краю в 1995/1996–2007/2008 учебных годах

Показатели	1995/1996	2000/2001	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008
Число учебных заведений всего:							
Российская Федерация	762	965	1044	1071	1068	1090	1108
Сибирский федеральный округ	92	111	115	116	114	118	117
Красноярский край	13	16	16	16	16	16	13
Доля числа вузов края в общем числе вузов РФ, %	1,7	1,7	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2
Доля числа вузов края в общем числе вузов СФО, %	14,1	14,4	13,9	13,8	14,0	13,6	11,1
В том числе г. Красноярск	12	14	15	15	15	15	12
Из них государственных	12	12	13	13	13	13	9
Численность ППС							
По Российской Федерации:							
всего, тыс. чел.	253,2	307,4	354,1	364,3	387,3	409	419,2
на 1 000 студентов	90	65	55	53	55	56	56
По Красноярскому краю:							
всего, тыс. чел.	5,096	5,610	6,699	6,964	7,264	7,388	7,502
Из них:							
в государственных и муниципальных вузах	5,033	5,214	6,046	6,324	6,343	6,507	6,662
негосударственных вузах	0,063	0,396	0,653	0,640	0,921	0,881	0,840
на 1 000 студентов	85	58	55	56	55	57	58

ный показатель в 1,5 выше, чем по Российской Федерации).

Проведенный анализ конкурса вступительных экзаменов в государственных и муниципальных вузах свидетельствует о росте престижности высшего профессионального образования (рис. 1) [3; 4; 5]. Так, если в 2000 г. конкурс на вступительных экзаменах в государственные (муниципальные) вузы составлял по Красноярскому краю 170 заявлений на 100 мест и по Российской Федерации – 187 заявлений на 100 мест, то уже в 2008 г. данный показатель составил 236 заявлений по Красноярскому краю и 208 заявлений по вузам Российской Федерации. Таким образом, конкурс на вступительных экзаменах в государственных и муниципальных вузах возрос в 2008 г. по сравнению с 2000 г. на 38 % по Красноярскому краю и на 11 % по Российской Федерации. Следует отметить, что на протяжении 1995–2005 гг. конкурс на вступительных экзаменах в вузы Российской Федерации был несколько выше, чем по Красноярскому краю (за исключением 2004 г.). Однако с 2006 г. ситуация изменилась: по Красноярскому краю на 2 заявления на 100 мест было подано больше, чем по Российской Федерации. В 2007 г. эта разница составила 65 заявлений на 100 мест, или 32 %, а в 2008 г. – 28 заявлений на 100 мест, или 13 %.

Кроме государственных и негосударственных вузов подготовку специалистов высшей квалификации на территории Красноярского края осуществляет широкая сеть

филиалов как вузов края, так и вузов из других регионов (табл. 5).

На территории Красноярского края по состоянию на 01.02.2008 г. функционировало 45 филиалов вузов, из них 55 % – филиалы вузов Красноярского края и 45 % – филиалы вузов других регионов Российской Федерации. Следует отметить, что из 25 филиалов вузов Красноярского края 92 % принадлежит государственным вузам и только 8 % (2 филиала) негосударственным вузам региона. Противоположная ситуация наблюдается по филиалам вузов из других регионов страны. Из 20 филиалов данных вузов только 25 % (5 учреждений) принадлежит государственным вузам и большая часть (75 %, или 15 филиалов) является филиалами негосударственных вузов страны.

На конец 2008 г. ситуация на рынке образовательных услуг, предоставляемых филиалами вузов, несколько изменилась. Произошло сокращение общего числа филиалов с 45 до 39 учреждений, т. е. на 6 филиалов, из них закрылись 3 филиала государственных вузов Красноярского края, 2 филиала негосударственных и 1 филиал государственного вуза других регионов Российской Федерации.

Таким образом, сокращение числа филиалов на территории Красноярского края произошло за счет ликвидации филиалов вузов Красноярского края и других регионов Российской Федерации с переводом студентов в головные образовательные учреждения.

Таблица 4

Сравнительный анализ доли численности студентов высших учебных заведений в разрезе форм обучения по Российской Федерации и Красноярскому краю в 1995/1996–2006/2007 учебных годах, %

Показатели	1995/1996	2000/2001	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008
Обучались на отделениях:							
Очных:							
Российская Федерация	62,8	55,4	50,8	49,9	49,7	49,0	47,9
Красноярский край	64,3	60,5	56,7	57,2	54,6	54,4	52,9
Очно-заочных (вечерних):							
Российская Федерация	6,3	6,4	5,4	5,3	5,3	5,1	4,7
Красноярский край	2,8	3,3	2,6	2,5	2,2	2,1	1,8
Заочных:							
Российская Федерация	30,7	37,1	41,9	42,7	42,9	43,7	45,1
Красноярский край	32,9	36,1	39,0	38,4	40,9	40,6	41,8
Экстернат:							
Российская Федерация	0,2	1,1	1,9	2,1	2,1	2,2	2,3
Красноярский край	–	0,1	1,7	1,9	2,3	2,9	3,5

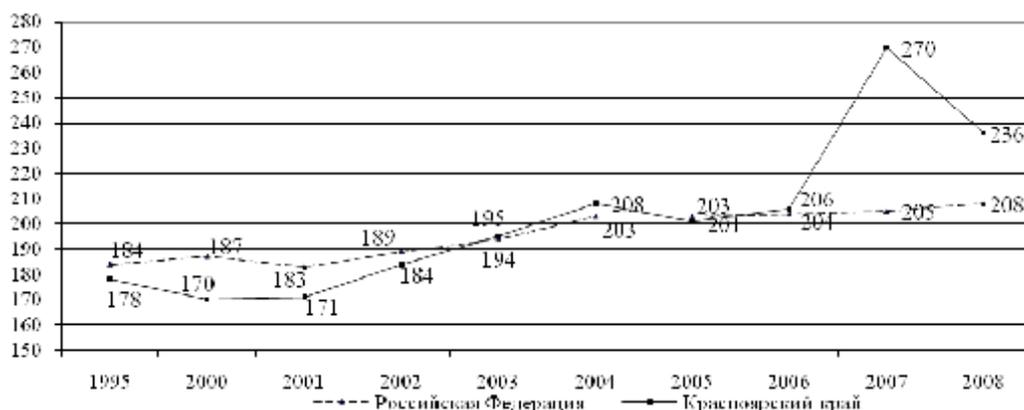


Рис. 1. Конкурс на вступительных экзаменах в государственных и муниципальных высших учебных заведениях по Российской Федерации и Красноярскому краю (на 100 мест подано заявлений) в 1995–2008 гг.

Обучение студентов в вузах и их филиалах происходит по 87 специальностям, из них наиболее популярными и востребованными у абитуриентов являются следующие: «Менеджмент организации», «Бухгалтерский учет, анализ и аудит», «Финансы и кредит», «Экономика и управление» (рис. 2).

Следует отметить, что большая часть вузов, функционирующих на территории Красноярского края, предлагают образовательные услуги по одинаковым специальностям. Таким образом, на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования на территории Красноярского края существует достаточно жесткая конкуренция, вследствие чего на первый план выдвигаются такие критерии предоставления образовательных услуг, как уровень платы за обучение и условия обучения.

Все вузы, осуществляющие предоставление образовательных услуг в Красноярском крае, предоставляют платные образовательные услуги в области высшего профессионального образования на договорной основе. Сравнительный анализ стоимости обучения в вузах г. Красноярска по ряду специальностей, наиболее часто встречающихся в образовательных программах, свидетельствует о существенной дифференциации стоимости предоставления платных образовательных услуг в области высшего профессионального образования вузами региона.

Лидером по стоимости обучения выступает Сибирский федеральный университет (СФУ). Например, стоимость обучения по специальности «Бухгалтерский учет, анализ и аудит» составляет в СФУ по очной форме обучения 48 000 руб. за один семестр, что на 33,3 % выше,

чем в Красноярском государственном аграрном университете (КГАУ), на 45,5 % выше, чем в Сибирском государственном технологическом университете (СибГТУ), и в 2,1 раза превышает стоимость в Красноярском институте социально-экономических наук (КИСЭН). По заочной форме обучения – 24 000 руб. за семестр, что на 50 % выше, чем в КГАУ, на 21,2 %, чем в СибГТУ, и в 1,3 раза больше, чем в КИСЭН и Сибирском институте бизнеса, управления и психологии. Аналогичная ситуация по стоимости предоставляемых платных образовательных услуг наблюдается и по другим специальностям.

Следует отметить, что негосударственные вузы придерживаются ценовой политики, ориентированной на более низкие цены за обучение по сравнению с государственными вузами, для привлечения большего количества абитуриентов. Также следует отметить, что стоимость обучения по очной форме в большинстве вузов одинаковая независимо от специальности, в то время как по заочной форме обучения она колеблется в зависимости от престижа и востребованности данной специальности у студентов.

Таким образом, проведенные исследования позволяют выявить следующие тенденции и особенности предложения на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования Красноярского края:

- 1) продолжает расти престиж высшего профессионального образования, о чем свидетельствует постоянный рост числа студентов на территории края и увеличение конкурса на вступительных экзаменах;
- 2) наблюдается стабильное увеличение численности доли студентов, обучающихся в негосударственных вузах

Таблица 5

Динамика количества филиалов государственных и негосударственных вузов, расположенных на территории Красноярского края (рассчитано по информации совета ректоров Красноярского края)

Учебные года	Всего филиалов	Филиалы вузов Красноярского края			Филиалы вузов других регионов РФ		
		Всего	Государственные	Негосударственные	Всего	Государственные	Негосударственные
2007/2008	45	25	23	2	20	5	15
2008/2009	39	22	20	2	17	4	13



Рис. 2. Частота повторений отдельных специальностей по вузам, расположенным на территории Красноярского края (рассчитано по информации совета ректоров Красноярского края)

Красноярского края, однако темпы прироста численности данных студентов ниже, чем по Российской Федерации, но выше, чем по Сибирскому федеральному округу;

3) ведущую роль в предоставлении образовательных услуг в области высшего профессионального образования на территории края продолжают занимать государственные вузы, на долю которых приходится около 91 % всех студентов вузов региона;

4) в крае, по сравнению с Российской Федерацией, выше доля студентов, обучающихся на очной форме обучения, и существенно ниже (более чем в 2 раза) доля студентов, обучающихся по очно-заочной (вечерней) форме обучения;

5) на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования Красноярского края получила достаточно быстрое развитие такая форма обучения, как экстернат;

6) высшие учебные заведения края сосредоточены в г. Красноярске (только 1 вуз расположен в г. Норильске), кроме того, на территории города действует ряд филиалов вузов других регионов страны, что придает г. Красноярску статус центра подготовки специалистов высшей квалификации в регионе;

7) происходит повышение качества подготовки специалистов высшей квалификации в результате реорганизации ряда вузов г. Красноярска и создания Сибирского федерального университета;

8) наблюдается тенденция снижения численности профессорско-преподавательского персонала в вузах в расчете на 1 000 студентов, что приводит к увеличению нагрузки на одного преподавателя;

9) на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования края наблюдается тенденция уменьшения числа филиалов, причем данная тенденция касается как государственных, так и негосударственных вузов;

10) большинство вузов и их филиалов предоставляют одинаковый набор специальностей, что приводит к переизбытку специалистов данных квалификаций на рынке труда региона, с одной стороны, и ужесточению конкуренции на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования, с другой стороны;

11) продолжается развитие предоставления платных образовательных услуг как государственными, так и негосударственными вузами и их филиалами на территории Красноярского края;

12) отсутствует единая ценовая политика вузов в области предоставления платных образовательных услуг, наблюдается дифференциация стоимости обучения в различных вузах в разрезе отдельных специальностей и форм обучения.

Предложение на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования под влиянием различных факторов постоянно находится в изменении, поэтому периодически необходимо проведение исследований с использованием статистических данных, характеризующих состояние рынка образовательных услуг Российской Федерации, Сибирского федерального округа и Красноярского края.

Полученные результаты исследования могут быть использованы вузами Красноярского края при формировании предложения на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования.

Библиографический список

1. Регионы России. Социально-экономические показатели – 2006 : стат. сб. / Федер. служба гос. статистики. М. : Федер. служба гос. статистики, 2007.
2. Регионы России. Социально-экономические показатели – 2008 : стат. сб. / Росстат. М., 2008.
3. Россия в цифрах. 2009 : краткий стат. сб. / Росстат. М, 2009.
4. Образование в Красноярском крае : стат. справ. / Красноярскстат ; Федер. служба гос. статистики. Красноярск : Красноярскстат, 2009.
5. Красноярский край в цифрах в 2006 году : крат. стат. сб. / Красноярскстат ; Федер. служба гос. статистики. Красноярск : Красноярскстат, 2007.
6. Красноярский край в цифрах : стат. справ. / Красноярскстат ; Федер. служба гос. статистики. Красноярск : Красноярскстат, 2007.
7. Образование в России – 2007 : стат. бюл. М. : МГУПИ, 2008.

N. I. Denisova

TRENDS AND FEATURES OF THE EDUCATIONAL SERVICES' MARKET IN THE FIELD OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION IN THE KRASNOYARSK REGION

Trends and specific features of offers on the educational services' market in the field of higher professional education in the Krasnoyarsk Region are reviewed in this article.

The article represents a comparative analysis of the condition at educational services' market in the Russian Federation, Siberian Federal District and the Krasnoyarsk Region.

Keywords: higher professional education, regional market of educational services, higher education institutions, higher-education teaching staff, forms of education, educational fees.

© Денисова Н. И., 2009

О. Л. Якищук, О. Э. Семенкина, В. М. Клешков

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА ОРГАНИЗАЦИИ*

Рассмотрены вопросы эффективного использования человеческого капитала в современных организациях как основы создания стоимости организаций. Представлены и проанализированы наиболее распространенные методы оценки эффективности использования человеческого капитала.

Ключевые слова: человеческий капитал, интеллектуальные работники, эффективность использования, методы оценки.

Функционирование современных организаций происходит в условиях глобального финансово-экономического кризиса и характеризуется, как правило, негативными последствиями. Однако современная деловая среда представляет собой не только кризисный момент, но и реальную возможность выхода организаций на новый виток развития. Для этого финансовый кризис необходимо рассматривать как шанс перестроить систему управления и создать эффективный механизм, способный принимать сложные управленческие решения в любых условиях. Основой развития организации является персонал компании, или человеческий капитал. Инвестиции в человеческий капитал, способный разрабатывать новые технологии, методы работы и превращать их в привлекательный коммерческий продукт, признаются ведущими мировыми корпорациями и учеными самыми выгодными для увеличения конкурентоспособности предприятия. Успех на рынке все более зависит от клиентоориентированности бизнеса, наличия уникального коммерческого предложения, но главное – от эффективности использования персонала организации, что требует адекватных методов оценки имеющегося человеческого капитала, который является недостаточно изученным. Рассмотрению этих вопросов и посвящена данная работа.

В настоящее время человеческий капитал понимают как совокупность знаний, практических навыков и творческих способностей служащих компании, приложенных к выполнению текущих задач. Другие его составляющие – моральные ценности компании, культура труда и общий подход к делу [1]. Значение человеческого капитала в современных условиях определяется тем, что технические, технологические и финансовые возможности предприятий и стран уже не могут являться конкурентным преимуществом. Уже не существует серьезных ограничений в покупке технологий или привлечении капитала. Основным ограничением любого бизнеса становится именно человеческий ресурс, поэтому он нуждается в постоянном развитии, контроле и создании условий для эффективного использования. Роль человеческого фактора возрастает из-за повышения доли отраслей и сфер деятельности, основанных на высококвалифицированной рабочей силе: быстрорастущий наукоемкий сектор промышленности, сфера услуг, рост доли которой стал заметным отраслевым сдвигом в современной, в том числе отече-

ственной, экономике. Кроме того, повышение интереса к человеческому капиталу связано с переходом многих стран к новому типу экономики – экономике, основанной на знаниях.

В условиях экономики знаний традиционные методы управления не всегда показывают свою эффективность. Одной из важнейших угроз, которая при разумном подходе является возможностью, становится необходимость учета нового фактора производства – интеллектуального капитала, воплощенного в персонале организации или в интеллектуальных работниках. Значение в современной организации интеллектуальных работников определяется следующим:

- 1) они составляют значительную долю персонала;
- 2) создают конкурентоспособность организации;
- 3) являются ключевым источником развития.

Неприменимость традиционных методов управления и необходимость их корректировки связана с характеристиками интеллектуального работника:

- умением оперировать в работе информацией и знаниями и способностью переработки их в готовые продукты, новые знания;
- независимостью профессиональной деятельности от собственности на средства и условия производства;
- идентификацией себя скорее с профессией, чем с конкретной организацией или рабочим местом;
- слабой возможностью рабочего контроля по причине продажи работодателю результатов интеллектуальной деятельности, процесс достижения которых скрыт;
- во многих аспектах отличается неопределенностью и одновременно допускает несколько различных вариантов решения проблем;
- значительной социальной мобильностью;
- высокой способностью к самоорганизации, поэтому их автономность и самостоятельность не наносят компании ущерба, напротив, увеличение доли таких работников в организации снижает потребность в менеджерах;
- приоритетом интеллектуального роста и развития, а не максимизацией личного богатства и пр. [2].

К категории интеллектуальных сотрудников обычно относят программистов, юристов, конструкторов, дизайнеров, консультантов, экспертов, аналитиков, маркетологов и представителей других профессий, способных без

* Работа выполнена при финансовой поддержке АВИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710).

физических средств производства и предприятия создать готовый продукт. Значимость для организации и характеристики данной категории персонала инициируют поиск новых управленческих воздействий на интеллектуальных работников, в том числе и определение методов оценки эффективности использования интеллектуальных работников как основной части персонала современной организации.

Проблема ограниченности ресурсов, лежащая в основе возникновения необходимости обеспечения эффективных процессов, является более острой для тех сфер экономики, предприятия которых основывают свою деятельность на использовании человеческих ресурсов, в первую очередь, наукоемких отраслей. Это связано с тем, что в этой области требуется использование более качественных и, соответственно, более ограниченных ресурсов. Сказанное касается, в первую очередь, затрат человеческого труда и финансов, поскольку обеспечение такого рода деятельности требует квалифицированных работников и больших капитальных затрат. Следовательно, необходимо оценить, в какой степени все имеющиеся у организации активы необходимы для достижения корпоративной цели.

До анализа методов оценки эффективности следует уточнить понятие «эффективность» в понимании авторов. Эффективность – относительный эффект, результативность процесса, определяемый как отношение эффекта, результата к затратам, расходам, обеспечившим его получение.

В настоящий момент существует множество подходов и методов к оценке эффективности управления персоналом. Рассмотрим основные из них и проанализируем их с точки зрения применимости к интеллектуальным работникам.

Основными методами оценки интеллектуального труда, используемыми на практике, можно назвать три группы: количественные, качественные (или описательные) и комбинированные (или промежуточные).

К количественным методам оценки относятся балльный, коэффициентный, метод рангового порядка, метод парных сравнений, система графического профиля, метод «эксперимента» и т. д. К качественным (описательным) методам относится система устных и письменных характеристик, метод эталона, матричный и биографический методы, метод групповой дискуссии. Примерами комбинированных методов являются метод стимулирования оценок, группировки работников, тестирование. Разновидностями комбинированных методов, в разной степени сочетающих количественные и качественные оценки, являются следующие методы.

Оценка «360 градусов». Это получение данных о действиях человека в реальных рабочих ситуациях и о проявленных им деловых качествах. Информацию при этом получают от людей, которые общаются с этим человеком на разных уровнях: от начальника, коллег, смежника, подчиненного, клиентов [3]. Получение информации от людей, которые взаимодействуют с оцениваемым на работе, делает оценку «360 градусов» достаточно надежным инструментом. В качестве эксперта может быть привлечен и сам претендент на должность: его просят оценить

свое рабочее поведение и профессиональные качества, чтобы в дальнейшем использовать эти данные для коррекции его самооценки и создания совместно с ним плана индивидуального развития.

Многие западно-ориентированные компании для оценки деловых качеств персонала используют пятибалльную шкалу со следующим описанием:

5 – уровень мастерства, позволяющий проявлять данное качество в сверхсложных условиях, развивать его стандарты и обучать других;

4 – уровень расширенного опыта, позволяющий проявлять качество не только в стандартных, но и в сложных условиях;

3 – уровень базового опыта, позволяющий проявлять качество в большинстве рабочих ситуаций;

2 – уровень развития, когда деловое качество проявляется далеко не всегда, но сотрудник уже понимает важность его проявления и старается его развивать;

1 – качество не проявляется.

Метод оценки по решающей ситуации. Для использования этого метода специалисты по оценке готовят список описаний «правильного» и «неправильного» поведения работников в типичных ситуациях – решающих ситуациях. Эти описания распределяются по рубрикам в соответствии с характером работы. Далее лицо, проводящее оценку, готовит журнал для записей по каждому оцениваемому работнику, в который вносит примеры поведения по каждой рубрике. Позже этот журнал используется при оценке деловых качеств сотрудника. Обычно данный метод используется в оценках, выносимых руководителем, а не коллегами и подчиненными.

Метод рейтинговых поведенческих установок. Основан на использовании решающих ситуаций, из которых выводятся требуемые личные от работника деловые и личные качества, которые и становятся критериями оценки. Оценщик прочитывает в анкете рейтинга описание какого-либо критерия оценки (например, инженерная компетентность) и ставит пометку в шкале в соответствии с квалификацией оцениваемого. Это дорогостоящий и трудоемкий метод, но доступный и понятный работникам.

Метод шкалы наблюдения за поведением. Аналогичен предыдущему, но вместо определения поведения работника в решающей ситуации текущего времени оценщик фиксирует на шкале количество случаев, когда работник вел себя тем или иным специфическим образом ранее. Метод трудоемкий и требует существенных материальных затрат.

Метод анкет и сравнительных анкет. Включает набор вопросов или описаний поведения работника. Оценщик проставляет отметку напротив описания той черты характера, которая, по его мнению, присуща работнику, в противном случае оставляет пустое место. Сумма пометок дает общий рейтинг анкеты данного работника. Используется для оценки руководством, коллегами и подчиненными.

Интервью. Эта методика заимствована отделами по работе с персоналом из социологии и может включать те направления оценки, которые актуальны в организации в момент измерения.

Самооценка. Это процесс, с помощью которого люди «измеряют» свою эффективность, навыки, способности и другие качества. Компании используют метод самооценки как часть методик по оценке эффективности работы, оценке «360 градусов» и даже в процессе отбора. Приблизительно 5 % американских компаний используют некоторые виды самооценок как часть процесса оценки эффективности работы своих сотрудников. Например, некоторые правоохранительные органы используют метод самооценки как часть процесса оценки своих сотрудников, так как очень часто они работают в одиночку, и по некоторым критериям никто другой не может оценить их работу. В других компаниях метод самооценки применяется для сбора начальной информации для руководителя, готовящегося к проведению оценки эффективности работы сотрудников. Остальные компании проводят сравнения и обсуждения результатов самооценки сотрудников и оценки тех же сотрудников руководителями.

В целом, среди всего разнообразия методов оценки использования персонала наибольшее распространение получили количественные методы оценки интеллектуального труда, особенно балльный, коэффициентный и балльно-коэффициентный методы. Их преимуществами являются объективность, независимость от личного отношения экспертов к специалисту, возможность формализации результатов, сравнения параметров, систематизации результатов и использования математических методов [4].

Эффективность управления персоналом определяется исходя из объема, полноты, качества и своевременности выполнения закрепленных за ним функций. Для определения степени эффективности управления персоналом необходимы соответствующие критерии и показатели. При выборе критериев оценки следует учитывать, во-первых, для решения каких конкретных задач используются результаты оценки и, во-вторых, для какой категории работников устанавливаются критерии, учитывая, что они будут дифференцироваться в зависимости от сложности, ответственности и характера деятельности. В качестве критериев в области эффективности управления персоналом может выступать выполнение установленных норм выработки или обслуживания при надлежащем качестве работы и снижение издержек, возникающих из-за повышенной текучести персонала, необоснованных простоев и др.

При этом оценка эффективности управления персоналом состоит из двух компонентов: экономической эффективности, характеризующей достижение целей фирмы путем использования персонала на основании принципа экономичного расходования имеющихся ресурсов, и социальной эффективности, характеризующей степень ожидания потребностей и интересов наемных работников.

В качестве компонентов экономической эффективности управления персоналом некоторые экономисты предлагают использовать:

- соотношение результатов работы и издержек на персонал, рассматриваемое с точки зрения поставленных организационных целей;
- компоненты, отражающие вклад персонала в долгосрочное существование и развитие организации, к которым относятся:

стабильность, отражающаяся в преемственности кадрового состава, в надежности выполнения работниками порученных ими заданий, в отсутствии напряженности и конфликтов;

гибкость, означающая способность персонала адаптироваться к новым условиям, активно содействовать организационным изменениям и быть готовым к конфликтам, если это необходимо для реализации инновационных концепций.

В целом, успешность деятельности организации предполагает наиболее эффективное использование всех имеющихся ресурсов, в первую очередь, человеческих активов. Но способы достижения эффективного использования человеческих активов в корне отличается от прочих ресурсов, поскольку в данном случае оно обеспечивается мотивацией людей или воздействием на их цели. Специфика мотивации интеллектуальных работников заключается в том, что их цели и интересы включают как экономические, так и творческие составляющие. Мотивация интеллектуального работника зависит от его эффективности, т. е. от его способности достигать поставленные цели. Если его работа лишена эффективности, то очень скоро желание работать и приносить пользу исчезает [5]. В связи с этим повышение эффективности использования человеческого капитала должно стать приоритетным направлением управления современной организации.

Сложности оценки эффективности человеческого капитала связана с его отличиями от капитала физического. Так, от работника физического труда требуется результативность, производительность, т. е. он должен быть способен правильно выполнять поставленные перед ним задачи, но его не касается их адекватность. Деятельность работника физического труда можно оценить по количеству и качеству продукции. Интеллектуальный работник не производит продукции, которая могла бы быть эффективной сама по себе, так как не изготавливает физически осязаемые товары, готовые к использованию и легко поддающиеся учету по количеству и качеству. Товар интеллектуального работника – знания и идеи, практическая реализация товара происходит, когда кто-то воспользуется им, чтобы добиться конкретных результатов. Иначе говоря, работник, занимающийся интеллектуальной деятельностью, должен придавать работе (причем не только своей, но и результатам работы коллег) эффективность. В свою очередь, эффективность интеллектуального работника, воплощающего человеческий капитал организации, выражается в его способности решать ее актуальные задачи, а способом увеличения успехов организации является повышение эффективности труда таких работников.

Изменения касаются и такого традиционного показателя эффективности использования персонала, как производительность труда. Так, производительность интеллектуального работника определяется следующими факторами:

1. Производительность требует ответа на вопрос, в чем заключается производственное задание, поскольку специфика интеллектуального труда подразумевает определенность только конечного результата, например, дизайнерского проекта, а задача представить каким образом этот результат будет получен, обычно возлагается на

работника. Иначе говоря, он сам вынужден ставить себе производственное задание.

2. Ответственность за производительность целиком возлагается на самого работника. Интеллектуальные работники должны сами собой управлять, а также им необходима независимость при выполнении должностных обязанностей.

3. Непрерывная инновационная деятельность должна стать неотъемлемой частью умственной работы и включаться в производственное задание работника умственного труда; он должен отвечать за внедрение нововведений, поскольку изменения, усовершенствования являются атрибутом творческой деятельности.

4. Работнику умственного труда надо, с одной стороны, постоянно учиться, а с другой – постоянно учить. Причиной первого является мотивация самосовершенствования и развития, а второго – превышение уровня знаний интеллектуального работника в организации и необходимость передачи части его знаний коллегам для продуктивного функционирования отдела и организации в целом.

5. Производительность работника умственного труда не измеряется количеством или объемом. По крайней мере, это не главный показатель. Основным показателем производительности интеллектуального работника является качество решения поставленной задачи [6].

Таким образом, рассмотренные методы оценки эффективности использования человеческого капитала со-

временных организаций, а именно интеллектуальных работников как основной его части, их особенности и сложности, вызываемые этими особенностями, свидетельствуют о необходимости дальнейшего исследования данного вопроса с целью корректировки методов оценки и обеспечения более успешного функционирования организаций за счет эффективного использования человеческого капитала.

Библиографический список

1. Эдвинссон, Л. Интеллектуальный капитал. Определение истинной стоимости компании / Л. Эдвинссон, М. Мэлоун // Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология / под. ред. В. Л. Иноземцева. М. : Academia, 1999.
2. Юртайкин, Е. Особенности развития интеллектуальных работников / Е. Юртайкин // Управление человеческим потенциалом. 2005. № 2.
3. Варламова, Е. Оценка персонала по методу «360 градусов» / Е. Варламова // Кадровое дело. 2004. № 11.
4. Рак, Н. Г. Методика комплексной оценки кадров управления / Н. Г. Рак // Управление персоналом. 1997. № 10.
5. Друкер, П. Эффективный руководитель / П. Друкер. М. : Вильямс, 2007.
6. Друкер, П. Задачи менеджмента в XXI в. : учеб. пособие / П. Друкер. М. : Вильямс, 2007.

O. L. Yakishchik, O. E. Semenkina, V. M. Kleshkov

EVALUATION METHODS OF THE USE EFFECTIVENESS OF ORGANIZATION HUMAN CAPITAL

The use effectiveness of organizational human capital is considered as a background of organizational added value implementation. The most known methods of the use effectiveness evaluation of human capital are discussed and analyzed.

Keywords: human capital, intellectual workers, efficiency of use, evaluation methods.

© Якищук О. Л., Семенкина О. Э., Кleshkov В. М., 2009

УДК 338.583

Н. Б. Грошева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЧАСТНИКОВ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Для успеха любого инвестиционного проекта необходимо его тщательное планирование. Для этого следует учесть интересы всех лиц, которые могут повлиять на его исполнение и результаты. Такие лица образуют социальную сеть проекта. Рассмотрены некоторые аспекты определения такой сети.

Ключевые слова: инвестиционный проект, оценка проекта, социальная сеть.

В последнее время часто употребляется термин «инвестиционный проект». При этом подразумевается, что компания вкладывает средства в развитие производства, новое производство или приобретает активы и ожидает

получить при этом положительный денежный поток или иные материальные и нематериальные выгоды.

Существует множество способов оценки инвестиционных проектов, одним из них является способ оценки

чистой приведенной стоимости проекта. Однако с точки зрения терминологии в ряде случаев использование термина «проект» является некорректным.

Есть несколько определений того, что является проектом. Наиболее распространенное из них – ограниченные по времени и уникальные действия, ориентированные на достижение конкретной цели.

Требование уникальности разграничивает проекты и обычную операционную деятельность и не означает, что данные действия являются абсолютно инновационными. Фактически это говорит о том, что в данный промежуток времени с такой целью и с такими ограничениями действия выполняются однократно.

Важным для проекта является ограниченность по времени, что означает наличие фиксированных дат начала и завершения проекта. Без четко определенных границ времени невозможно планировать ресурсы, в том числе финансовые, и составлять расписание работ.

Самым главным признаком проекта является наличие цели (и определение результата проекта). Одной из ошибок формулирования инвестиционных проектов как раз и является ориентация на получение финансового результата (например прибыли). Результат должен быть количественно измерим и однозначно определен, а в случае определения получения прибыли как цели проекта фактически допускается выполнение группы разных проектов (например, если на производственном предприятии ставится цель получения 1 млн руб. прибыли от расширения деятельности, то это может быть и обычная деятельность, и новый бизнес). Таким образом, владелец проекта не ограничивает исполнителей, которые могут самостоятельно определять и реализовывать проекты.

Однако здесь на результат проекта может повлиять так называемая агентская проблема, т. е. рассогласование целей собственника проекта и исполнителей проекта.

Для иллюстрации этой проблемы поясним, какие группы лиц участвуют в проекте и в чем для них состоит так называемая «юзабилити», или полезность, проекта.

Прежде всего в проекте участвует заказчик проекта, или собственник проекта. Следует уточнить, что заказчик проекта не всегда является владельцем предприятия, на котором реализуется проект. Например, для проектов по улучшению экологической обстановки в городе или регионе заказчиком проекта является власть или общественность, т. е. группа лиц, которые используют непосредственно результат проекта. Однако в случае, если проект реализуется для расширения бизнеса или роста стоимости конкретного бизнеса, заказчиком может являться владелец или владельцы предприятия. Интерес заказчика проекта – это, как правило, достижение цели и результатов проекта с учетом всех ограничений и, возможно, экономия ресурсов. Если цель проекта может быть достигнута без завершения проекта и проведения всех работ по проекту, то проект может быть прекращен. Кроме того, заказчики могут быть заинтересованы в «долговременной устойчивости» результатов проекта. Например, если это экологический проект, то результат – долговременное сохранение экологического благополучия. Следовательно, постановка жесткой цели проекта и определение желаемых результатов и ограничений относится к полномочиям собственника проекта.

Исполнители проекта – это группа лиц, которые непосредственно реализуют проект. Их цели могут не относиться именно к цели проекта, например, наемные менеджеры, привлекаемые исключительно для проекта, заинтересованы в завершении проекта не позднее установленных сроков и с оговоренным качеством только в том случае, если есть ожидания карьерного роста или денежного вознаграждения. Если исполнители уже работают на предприятии и результаты проекта могут принести в их деятельность некие изменения, например, сокращение части работников после автоматизации производства, то исполнители будут не заинтересованы в успешном завершении проекта.

Пользователи проекта – это люди, которые будут непосредственно использовать результаты проекта (работать на новом производстве, обслуживать новые технологии и т. д.). Их интерес в том, чтобы результаты проекта соответствовали их ожиданиям, решали какие-то задачи и при этом не наносили материального или иного ущерба. Пользователи не участвуют непосредственно в исполнении проекта, но могут повлиять на результат проекта. В частности, если говорить об инвестиционных проектах, например, внедрение автоматизированной системы класса ERP, то неумение или нежелание пользователей работать в системе и корректно отражать данные может минимизировать ожидаемый экономический эффект.

Прочие участники проекта (иногда в литературе встречается термин «стейкхолдеры») могут не относиться к вышеуказанным группам, но могут оказывать влияние на проект или его результаты. Так, например, в соответствии с законодательством при строительстве объектов (жилого или промышленного назначения) необходимо провести общественные слушания, в результате которых проект может быть отклонен или значительно изменен (примером такого проекта может служить изменение траектории нефтепровода, который первоначально должен был проходить недалеко от озера Байкал). У этой группы лиц могут быть свои экономические или неэкономические интересы и ожидания по проекту, и неучет этих интересов может повлиять как на ход реализации проекта, так и на его результаты.

Фактически все эти группы образуют социальную сеть проекта, т. е. охватывают всех заинтересованных лиц (речь идет именно о физических лицах), и если при планировании проекта не учесть интересы хотя бы наиболее влиятельных из них, проект может оказаться неуспешным.

Например, если говорить об инвестиционных проектах на градообразующих предприятиях, иногда можно наблюдать следующую картину: при смене собственника новый владелец прежде всего пытается реализовать проекты, повышающие рентабельность производства. В числе таких проектов может быть смена поставщиков на внешних по отношению к муниципальному образованию или региону присутствия, привлечение более квалифицированной рабочей силы (в том числе из других регионов) или просто сокращение части специалистов. Однако если предприятие является градообразующим, то автоматически оно будет крупнейшим (или единственным) работодателем, и любые меры, задевающие интересы большого количества работников, будут восприняты не-

гативно не только ими, но и местной и региональной властью, что, в свою очередь, может повлечь дополнительную финансовую нагрузку на проект (в частности, собственников компании могут обязать создать дополнительные рабочие места для уволенных специалистов).

Кроме того, в проекте могут участвовать и группы лиц (в том числе юридические лица), например, кредитные организации, для которых проект интересен возможностью получения дохода на вложенные средства. При этом внутри юридического лица могут быть отдельные стейкхолдеры, например, специалист, который занимается выдачей кредитов и заинтересован в увеличении их количества. Для него проект интересен именно как возможность совершения сделки, которая повлияет на его ключевые показатели эффективности.

Следующим важным аспектом является определение границ проекта. В инвестиционных проектах обычно определяется положительный денежный поток от проекта.

Это означает, что границы проекта должны включать и деятельность, которая будет после вложения средств (например, если мы считаем проект по вложениям в новое оборудование, то должны включить в него и производство продукции на этом оборудовании, и управление этими процессами). Однако часто при планировании проектов эту деятельность забывают учесть. Так, есть примеры инвестиционных проектов, в которых в расходную часть бюджета заложили только инвестиционные расходы и не учли при этом, что для запуска производства и начала продаж требуется некий объем оборотных средств. Следовательно, эти средства не привлекались изначально, и после завершения инвестиционной части инвесторы сразу ждали денежного притока, который, соответственно, поступать не мог.

Таким образом при планировании инвестиций следует определить цель, границы и социальную сеть проекта.

N. B. Grosheva

DEFINING THE PARTICIPANTS OF AN INVESTMENT PROJECT

For the success of any investment project, careful planning is necessary. For this purpose it is important to consider the interests of all who can affect its execution and results. Such people form a social network of the project; some aspects of such network definitions are described in the presented article.

Keywords: investment project, a monetary stream, social network.

© Грошева Н. Б., 2009

УДК 338.583

Н. Б. Грошева, И. Ю. Сольская

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Управление границами и работами проекта – важная составляющая любого инвестиционного проекта. Рассмотрен один из способов минимизации риска неуспешности проекта – более точное определение тех работ, которые должны быть выполнены для завершения проекта и получения желаемого денежного потока.

Ключевые слова: инвестиционный проект, денежный поток, работы проекта.

Процесс структуризации (декомпозиции) является неотъемлемой частью общего процесса планирования проекта и определения его целей, а также подготовки сводного плана проекта и матрицы распределения ответственностей и обязанностей. Таким образом, к основным задачам структуризации следует отнести следующие:

- 1) разбивку проекта на блоки;
- 2) распределение ответственности за различные элементы проекта и увязку работ со структурой организации (ресурсами);
- 3) точную оценку необходимых затрат – средств, времени и материальных ресурсов;
- 4) создание единой базы для планирования, составления смет и контроля за затратами;

5) переход от общих целей к конкретным заданиям, выполняемым подразделениями организации;

6) определение комплексов работ (подрядов).

Процесс структуризации проекта – это, по сути, построение иерархической структуры работ дерева (в иностранных источниках – work breakdown structure, WBS), т. е. последовательное многоуровневое расщепление цели на работы, которые необходимо выполнить для того, чтобы достичь конечной цели проекта.

При управлении стоимостью проекта необходимо, в первую очередь, определить стоимость каждой работы проекта. Обычно составляют сметы по блокам работ. Чем детальнее блоки работ разбиты на более мелкие структуры, тем точнее будет расчет.

Для управления временем проекта – расчетом даты

окончания проекта, минимизацией времени – необходима схема, показывающая порядок работ. Для составления этой схемы необходимо сначала определить сами работы. Чем детальнее будут определены работы, тем оптимальнее можно спланировать время проекта. Если оперировать укрупненными блоками и определить порядок работ из взаимосвязи блоков, то можно упустить сокращение времени за счет проведения некоторых работ внутри блоков одновременно или за счет проставления связей между работами внутри блоков.

Уровень детализации зависит от сложности проекта. В некоторых случаях рекомендуется разбивка по принципу потребности в ресурсах: номенклатура ресурсов на одну работу не должна превышать 5 единиц или количество участников команды проекта должно быть не более 5 человек. Другим вариантом определения размера самого нижнего уровня работ является количество времени, необходимое для работы, например не более одного месяца. Все работы, срок которых превышает месяц, должны быть детализированы.

Отметим, что при детализации следует ориентироваться не на этапы проекта, а на результаты, которые должны быть получены при выполнении работ. Таким образом, можно более полно определить весь объем действий для проекта.

Очень часто во многих проектах не учитывают время, необходимое для производства некоторых видов работ, таких, например, как получение финансирования, получение финансовой и бухгалтерской отчетности, получение ресурсов, обеспечение персоналом, обеспечение сбыта, получение разрешительной документации. Для некоторых проектов, например в строительстве, инвестиционная составляющая часто выносится за рамки проекта. Обеспечение текущего финансирования проекта – обязательный блок работ, прежде всего, потому что он требует трудозатрат, часто отдельных специалистов. Иногда в команде проекта не предусмотрены отдельные специалисты по учету проведения оплаты расходов проекта, обеспечению бухгалтерского и налогового учета. Если проект небольшой, то, как правило, эти функции возлагаются на специалистов действующего предприятия. Однако фактически время, потраченное на обслуживание проекта, является расходами проекта.

В блок работы «получение ресурсов» входит получение заключенных договоров, обеспечение доставки ресурса, его приемки, хранения и т. д.; в блок «обеспечение персоналом» – поиск, найм, обучение, аттестация специалистов; в блок «обеспечение сбыта» – маркетинговый анализ, реклама, сбыт; также важен блок работ «получение разрешительной документации» и прочие работы, которые не вытекают явно из сути проекта, но без которых проект не состоится.

Структуризация может быть проведена по функциональному и организационному признакам.

Функциональный признак означает, что все работы, связанные, например, с маркетингом, попадают в один блок. Организационный же признак предполагает, что в блок работ собираются все работы, необходимые для получения результата.

Например, для проекта «Строительство многоквартирного дома и продажа квартир» работы по подбору и

обучению персонала могут быть выделены в блок «получение квалифицированного персонала», а могут быть распределены отдельно по строительным работам, работам по маркетингу и работам по сбыту. Аналогично, если мы планируем привлекать подрядчиков или субподрядчиков, работы по поиску, оценке подрядчиков и договорной работе могут быть выделены в отдельный блок или распределены по тем блокам, в которых планируется участие сторонних организаций.

При правильной детализации работ выбор признаков отбора не повлияет на дальнейшее календарное планирование. Однако если мы объединим поиск персонала в одну работу, не детализируя по видам персонала, при дальнейшем календарном планировании могут возникнуть проблемы с определением взаимосвязи работ.

При планировании бюджета проекта важно учесть все работы, которые входят в проект. Для этого используют, как говорилось выше, стандартный инструмент – структуру декомпозиции работ.

Однако до начала построения дерева работ следует определить границы проекта, т. е. какие именно процедуры входят в проект. Для определения границ проекта прежде всего необходимо проанализировать цель и результаты проекта, определенные заказчиком проекта, и учесть «юзабилити» всех участников проекта (не только тех, кто участвует в проекте напрямую, но и тех, кто входит в социальную сеть проекта).

Для примера опишем проект перепрофилирования оборудования по производству алюминия в одном из моногородов Иркутской области.

В социальную сеть входят следующие группы лиц:

1. Акционеры (собственники) группы компаний, в которую входит предприятие. Цель их очевидна – повышение производства алюминия и снижение затрат на его производство. Следует уточнить, что в данном проекте продажа произведенного алюминия не входит в границы проекта, так как осуществляется централизованно головной компанией с использованием инструментов биржевой торговли. В противном случае необходимо было бы учесть работы по реализации в рамках проекта, следовательно, если бы стояла задача окупаемости или положительного денежного потока, то и срок проекта удлинился бы на время, необходимое для продажи расчетного количества продукции.

2. Руководство региона. Целей здесь несколько:

- приток инвестиций в регион (для создания положительного образа региона как привлекательного для бизнеса);

- дополнительные инвестиции в проекты на территории региона, которые частично являются вложениями в экономику региона (так как часть работ делается местными подрядчиками, следовательно, появляются дополнительные рабочие места и повышается налогооблагаемая база);

- сохранение социальной стабильности (если проект может вызвать значительное сокращение рабочих мест, то администрация будет вынуждена принимать меры по содействию трудоустройству или выплате пособий);

- приобретение нового оборудования, что позволит снизить техногенные риски.

3. Руководство муниципального образования (в том числе и депутаты представительного органа), которое заинтересовано, в первую очередь, в повышении налоговых платежей и сохранении рабочих мест без ухудшения уровня жизни. Следовательно, если проект инициирует сокращения в связи с автоматизацией ряда процессов, муниципалитет будет против проекта.

4. Работники предприятия, которые будут пользоваться результатами проекта. Их цель – сохранение работы и улучшение условий труда, в том числе и в финансовом аспекте.

5. Менеджеры предприятия, в том числе связанные с проектом. Как правило, в период создания любой проект инициирует большое количество проблем для тех, кто в нем непосредственно не работает, т. е. финансово не заинтересован, но кто принимает то или иное участие в его реализации. Например, при отвлечении на работу в команде проекта тех или иных работников предприятия следует учесть, что руководители тех подразделений, откуда изымаются специалисты, будут против проекта, так как это усложняет их операционную деятельность. Следовательно, цель этой группы – минимизация негативных последствий, связанных непосредственно с реализацией проекта.

6. Руководитель проекта. Если речь идет о приглашенном специалисте, вознаграждение которого зависит от того, уложится ли проект в установленные сроки, то он непосредственно заинтересован в выполнении проекта в сроки и с минимальным качеством. Если руководитель проекта далее будет работать на созданном производстве, то его целью будет достижение максимального качества, что позволит сократить проблемы при эксплуатации результатов проекта.

7. Команда проекта, т. е. непосредственные исполнители. При неправильно построенной системе мотивации целью исполнителей может стать затягивание сроков проекта. Кроме того, иногда возникает ситуация, когда исполнители больше заинтересованы в собственном карьерном росте и работают в проекте до момента получения альтернативного предложения.

8. Жители муниципального образования, напрямую не связанные с предприятием. Их цель – улучшение уровня жизни, в том числе и с точки зрения экологии. К сожалению, многие проекты не являются прозрачными для общественности и по этой причине окружены большим количеством слухов. В частности, рассматриваемый проект в общественном мнении представлялся как экологически вредный. Приводилась даже статистика резкого ухудшения здоровья населения, и причиной этого назывался данный проект.

9. Экологические и общественные организации. Например, в Иркутской области достаточно неблагоприятная экологическая обстановка, следовательно, каждый проект подлежит дополнительной экологической экспертизе. Цель таких организаций – неухудшение экологической обстановки.

10. «Согласующие» менеджеры. Любой проект, тем более инвестиционный, нуждается в ресурсах, в том числе финансовых. Часто обеспечение проекта ресурсами вменяется в обязанности существующего персонала. В условиях неорганизованного доступа к ресурсам это не является проблемой, но в текущей ситуации, в частности, когда собственных средств у компаний крайне мало, а кредитные организации не готовы финансировать проекты без достаточного обеспечения, проблема финансирования проектов стоит достаточно остро, так как проект фактически конкурирует за ресурсы с основной деятельностью компании. В ситуации, когда компании необходимо платить за электроэнергию (а это достаточно серьезные суммы для алюминиевых заводов) и одновременно финансировать какую-либо стадию проекта, приоритет менеджером, отвечающим за финансы, несомненно будет отдан платежам по основной деятельности, так как именно они находятся в сфере его непосредственной ответственности. Таким образом, цель такого менеджера – обслуживание проекта, если он не ухудшает операционной деятельности, т. е. проект не является в данной ситуации приоритетным.

При идеальном развитии событий при планировании проектов необходимо учесть цели всех заинтересованных лиц, однако в обычной практике приходится выстраивать систему приоритетов. Следует отметить, что если проект значительно противоречит интересам какой-то из групп, то она может повлиять как на ход проекта, так и на использование его результатов.

Примером такого проекта является перенос нефтепровода по требованию экологических организаций и общественности из-за угрозы для озера Байкал.

Важно также определить границы проекта. В инвестиционных проектах обычно определяется положительный денежный поток от проекта. Это означает, что границы проекта должны включать и деятельность, которая будет после вложения средств, но при планировании проектов эту деятельность забывают учесть.

Таким образом, при планировании инвестиций следует определить цель, границы и социальную сеть проекта и затем составить структуру декомпозиции работ инвестиционного проекта.

N. B. Grosheva, I. Yu. Solskaya

DELIMITATION OF AN INVESTMENT PROJECT

The management of the project's boundaries and its functioning is an important component in any investment project. One of ways of to minimize the project risks is to precisely define the procedures, essential for the fulfillment of the project and the reception of a desirable monetary stream.

Keywords: investment project, monetary stream, project works.

ОСОБЕННОСТИ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СУДОРЕМОНТНЫХ РАБОТ

Предложены виды декомпозиции затрат на судоремонтных предприятиях, учитывающие индивидуальный характер работ и позволяющие улучшить качественные характеристики управления затратами.

Ключевые слова: производственные затраты.

Управление промышленным предприятием в условиях жесткой конкурентной среды и общей стагнации российской экономики требует пересмотра подходов к ведению бизнеса. На сегодняшний день наиболее важной становится задача повышения эффективности управления затратами. Особую актуальность указанная задача приобретает для отечественных судоремонтных предприятий, так как влияние мирового финансового кризиса крайне негативно сказалось на количестве и объемах оказываемых ими услуг. Российские судовладельцы в связи с нехваткой денежных средств не имеют возможности проводить полноценный ремонт судов, откладывая его на необозримое будущее либо осуществляя его за границей. Поэтому современная практика хозяйствования судоремонтных предприятий должна строиться на повседневной работе с затратами, направленной на их оптимизацию, что обеспечит стабильность позиций на рынке и увеличение уровня рентабельности.

Эффективность функционирования системы управления затратами зависит от качественных и количественных характеристик сведений о затратах. В рамках применяемой в настоящее время на судоремонтных предприятиях позаказной методики учета и калькуляции комплексно решить указанные задачи невозможно. Поэтому при разработке и совершенствовании системы управления затратами судоремонтных предприятий наиважнейшее значение приобретает определение способа декомпозиции затрат, удовлетворяющего вышеуказанным требованиям.

Для калькулирования себестоимости судоремонтных работ предлагается следующее деление затрат на производство продукции, которое значительно расширит возможности обработки информации для целей управления: материальные, операционные, цеховые и общехозяйственные затраты (табл. 1).

При этом под материальными затратами понимается стоимость сырья, материалов, полуфабрикатов, комплек-

ствующих изделий и т. п., т. е. всего того, что составляет материальную основу производимой продукции. Материальные затраты, возникающие при восстановлении или изготовлении узлов и деталей, необходимо учитывать по процессам, планируемыми и выполняемым по ремонтным ведомостям. Если в рамках судовых ремонтных работ узел не восстанавливается, а заменяется, то данные затраты относятся не на процесс, а на заказ в целом.

Под операционными затратами понимается стоимость основных технологических операций, которые необходимо произвести для полного выполнения работы (процесса).

Данные затраты включают в себя:

- заработную плату с начислениями персонала, непосредственно участвующего в процессе;
- затраты на электроэнергию и топливо, расходуемое оборудованием;
- амортизацию оборудования;
- вспомогательные материалы, которые можно непосредственно отнести на данный процесс;
- затраты на обеспечение процессов материалами и их хранение.

Цеховые расходы включают в себя:

- заработную плату цехового управленческого и вспомогательного персонала;
- затраты на освещение, отопление и водоснабжение цеха;
- затраты на амортизацию производственных помещений и оборудования, не включенного в состав непосредственно обеспечивающего выполнение процессов;
- транспортные расходы, обеспечивающие работу цеха.

В состав общехозяйственных расходов входят:

- заработная плата управленческого и обслуживающего персонала предприятия;
- затраты на освещение, отопление и водоснабжение непроизводственных помещений;

Таблица 1

Процессно-ориентированная классификация затрат судоремонтных предприятий

Задачи	Затраты		
	Материальные и операционные	Цеховые	Общехозяйственные
Расчет себестоимости	Прямые Производственные Основные	Косвенные Периодические Накладные	
Планирование	Переменные	Условно-переменные	Постоянные
Контроль	Релевантные	Частично релевантные	

– затраты на амортизацию непроизводственных помещений и оборудования, не включенного в состав процессного и цехового;

– транспортные расходы, обеспечивающие работу предприятия;

– коммерческие расходы.

Цеховые затраты распределяются на процессы, а общехозяйственные – непосредственно на сами выполняемые заказы по драйверам затрат.

Драйвер затрат (cost drivers) есть основной показатель уровня затрат: для арендной платы это площадь помещения, занимаемая данным сотрудником; для стоимости потраченной электроэнергии это потребляемая электрическая мощность персонального оборудования работника (с поправкой на время работы) и т. п. Для оценки переносимой стоимости сначала определяется стоимость единицы драйвера затрат – одного квадратного метра, киловатт-часа и т. п. Искомая переносимая сумма определяется умножением стоимости единицы драйвера на количество драйвера, потребляемое данным ресурсом. Для цеховых расходов в качестве драйверов целесообразно использовать величины затрат на одного основного рабочего на час его работы и на час работы основного оборудования (рис. 1).

При процессном калькулировании затрат целесообразной является декомпозиция затрат по рабочим специальностям. Такая разбивка необходима для накопления статистической базы при формировании укрупненных нормативов расхода ресурсов для осуществления производственных процессов. В системе нормативов, в целях ее упрощения, разработаны коэффициенты, учитывающие характеристики рабочих мест. Например, выработка сварщика при выполнении аналогичных видов работ в цехе и непосредственно на ремонтируемом судне может значительно колебаться из-за разных объемов подготовительных работ или погодных условий, повышающих сложность работы.

Для осуществления контроля уровня производительности труда и расхода материалов каждым работником

необходима декомпозиция затрат по исполнителям и рабочим местам.

Таким образом, предложенная дефрагментация процессов даст возможность удобного распределения издержек по центрам затрат – производственным цехам.

Кроме того, целесообразно использовать и такие виды декомпозиции, характерные для позаказного учета, как виды ремонта и по заказам.

Представленная декомпозиция затрат (табл. 2) имеет следующие преимущества:

Во-первых, такая декомпозиция проводит параллель между затратами на производство и основными видами деятельности в процессе производства, вносит упорядоченность в выделение центров ответственности.

Во-вторых, выделение в отдельную группу процессных затрат упрощает контроль за производительностью рабочих.

В-третьих, материальные и процессные затраты носят выраженный переменный характер, поэтому такое деление позволит использовать при управлении затратами анализ безубыточности и методы директ-костинга.

В-четвертых, такое деление затрат позволит применить процессно-ориентированный подход к определению себестоимости продукции.

Под процессом понимается совокупность взаимосвязанных операций (работ) по изготовлению готовой продукции или выполнению услуг на основе потребления ресурсов.

С учетом рабочих специальностей выделяют производственные процессы, которые при необходимости разбиваются на subprocesses. Под subprocessами понимается этап процесса, составная часть процесса, характеризующаяся наличием некоторого промежуточного результата и представляющая собой совокупность работ и операций.

Для того чтобы правильно вычленил из технологии судоремонтных работ основные subprocessы, следует определиться, какой критерий необходимо использовать

Таблица 2

Обоснование декомпозиции затрат

Вид декомпозиции	Цель декомпозиции
По заказам	Контроль освоения лимита затрат по каждому объекту ремонта
По видам ремонтов	Для получения статистической информации, необходимой для краткосрочного и среднесрочного планирования затрат
По процессам	Упрощение задач мониторинга, краткосрочного и среднесрочного планирования затрат, закрепление производственных расходов за центрами затрат (цехами)
По subprocessам	Повышение степени управляемости затрат за счет снижения удельного веса косвенных (распределяемых) расходов Упорядочение и совершенствование бизнес-процессов предприятия для достижения наиболее эффективного использования ресурсов предприятия. Контроль степени выполнения работ, запланированных в ремонтных ведомостях, обеспечение возможности сравнения фактических затрат по каждому пункту ведомости с нормативными
По рабочим специальностям	Для разработки и уточнения нормативов стоимости процессов
По рабочим местам	Применение поправочных коэффициентов, увеличивающих нормативную трудоемкость процесса в зависимости от условий выполнения работы, контроль эффективности использования оборудования
По исполнителям	Контроль эффективности расхода рабочего времени каждого исполнителя Персонализация ответственности по эффективному использованию ресурсов

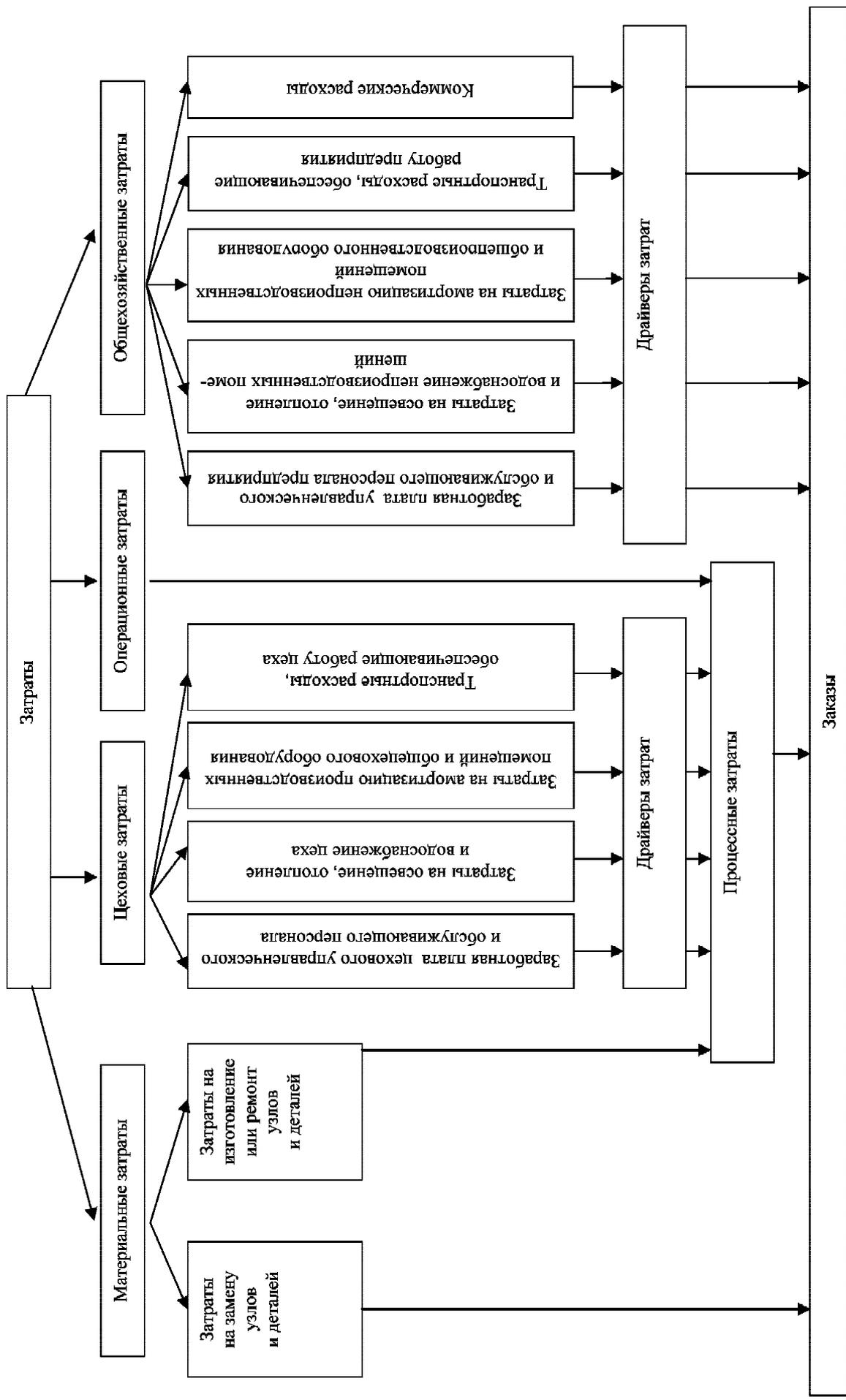


Рис. 1. Схема процессного распределения заград суворемонтного предприятия

при декомпозиции затрат. Для процессно-ориентированного калькулирования основным критерием оптимальности декомпозиции будет являться такое разбиение технологии судоремонтных работ, при котором вычлененные части – subprocesses – обладали бы наименьшей степенью вариативности затрат на единицу времени использования процесса для разных видов и объектов ремонта. Именно в этом случае ремонтные ведомости, являющиеся в судоремонтных предприятиях калькуляциями, рассчитанные на основе суммирования стоимости количества процессов, включенных в эти ведомости, адекватно отражают стоимость каждого заказа вне зависимости от типа ремонтируемого судна и вида ремонта.

Для судоремонтных предприятий характерной чертой является большая номенклатура работ. Однако их можно сгруппировать в такие наборы работ, которые идентичны для любого типа ремонтируемого судна и вида ремонта. Отличия для каждого конкретного заказа на ремонт будут только в подборе этих наборов-процессов и величине использования каждого конкретного процесса. Так, например, замена набора для судов проектов 866 и Р-14А идентична по стоимости часа работ, причем как для среднего, так и для текущего ремонта.

Следовательно, работы, отвечающие указанным условиям, можно сгруппировать в рамках одного процесса, при этом требования критерия декомпозиции, сформули-

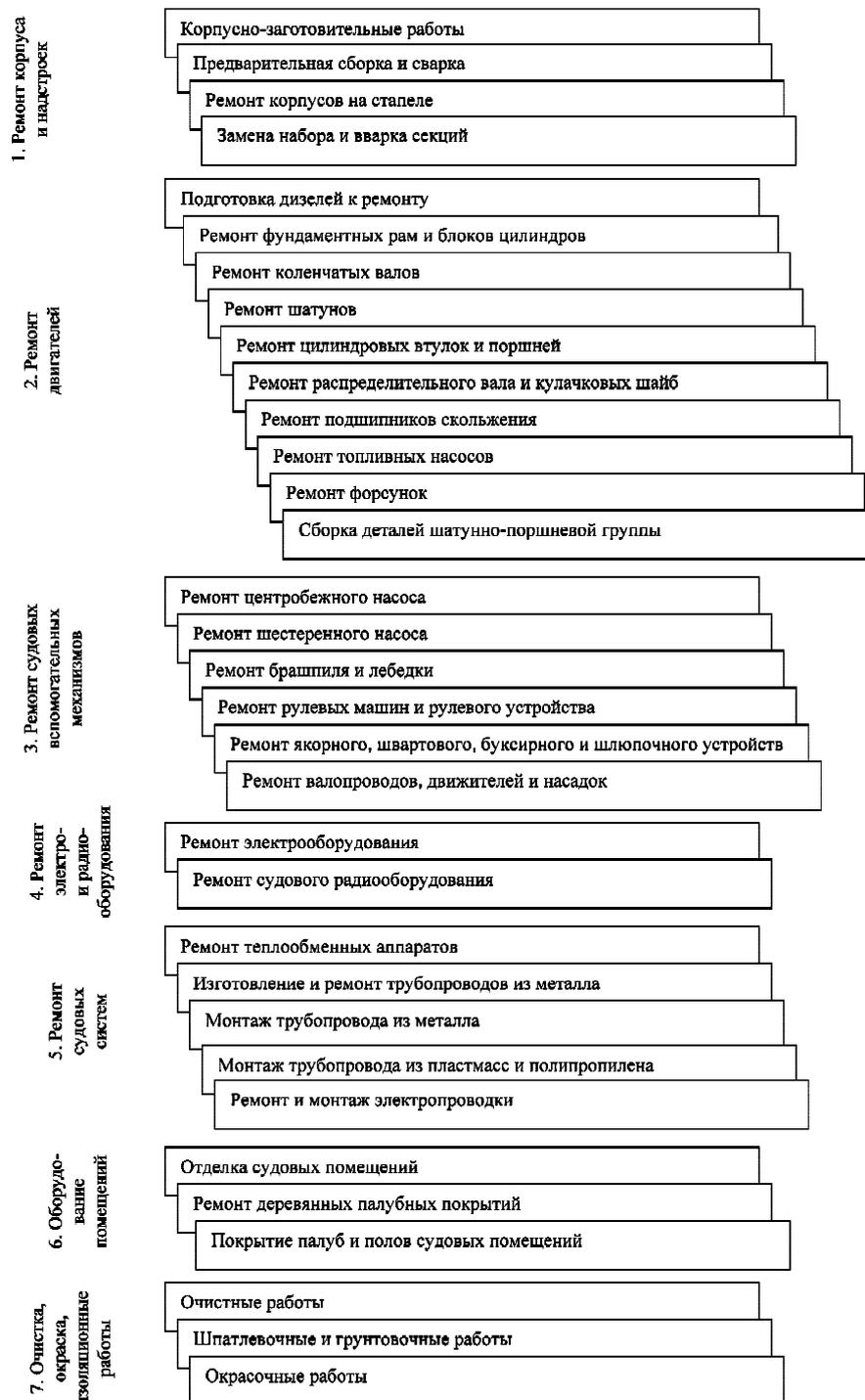


Рис. 2. Процессная декомпозиция судоремонтных работ

рованные ранее, будут соблюдены даже при различных непропорциональных изменениях стоимости часа работы каждого рабочего агрегата, включенного в процесс.

На судоремонтных предприятиях Красноярского края, выполняющих большинство судоремонтных работ самостоятельно, целесообразно выделить следующие процессы:

- ремонт корпуса и надстроек;
- ремонт двигателей;
- ремонт судовых вспомогательных механизмов;
- ремонт электро- и радиооборудования;
- ремонт судовых систем;
- оборудование помещений;
- очистку, окраску, изоляционные работы.

Это позволяет обеспечить поточность судоремонтных работ, при этом упрощается задача мониторинга уровня и структуры затрат. Для каждого из указанных процессов можно статистическим путем вывести коэффициенты соотношения расхода видов материальных затрат к трудоемкости. Так, например, в структуре издержек по процессам оборудования помещений, очистки, окраски, изоляционных работ преобладают затраты на оплату труда. Наиболее материалоемкими являются ремонт корпуса и надстроек и ремонт двигателей, причем в первом из указанных процессов преобладают затраты на металлопродукцию, во втором – на запчасти для оборудования.

Структура судоремонтных работ при использовании предложенной процессной системы управления затратами представлена на рис. 2.

Предложенная декомпозиция затрат дает возможность реализовать процессно-ориентированный подход к контроллингу затрат, обеспечивает возможность аналитической обработки по заказам, по видам ремонтов, по производственным процессам, по subprocessам, по рабочим специальностям, по рабочим местам и исполнителям.

На сегодняшний день внедрение процессной организации управления в различных формах происходит в ОАО «Новороссийский судоремонтный завод», на ФГУП «Адмиралтейские верфи», в ОАО СРК «Севморсудоремонт». Положительный управленческий эффект отмечают сотрудники всех вышеуказанных предприятий, но при этом следует отметить, что методики управления, используемые на этих заводах, ориентированы, главным образом, на оптимизацию процессов, улучшение их качества. Управление затратами при этом рассматривается скорее как вспомогательная, производная функция. При предлагаемом процессно-ориентированном подходе, наоборот, главной целью ставится прежде всего управление производственными затратами, а процессная декомпозиция является основой системы, позволяющей наиболее эффективно выполнять поставленные управленческие задачи.

S. V. Filko

THE FEATURES OF OPERATIONAL DECOMPOSITION EXPENDITURES IN SHIP REPAIR WORKS

Types of decomposition costs at the ship repair enterprises have been studied. The separate features of these works have been overlooked, allowing us to improve the qualitative characteristics of the cost management.

Keywords: operating costs.

© Филько С. В., 2009

УДК 669.713.7

С. А. Беляков

МЕХАНИЗМ СТИМУЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ БИОТЕХНОЛОГИЙ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

Биотехнология является одним из научно-практических приоритетов XXI в. Ключевую роль в стимулировании развития биотехнологии в зарубежных странах принимает на себя государство, которое решает эту задачу с помощью комплекса мер как административного, так и экономического воздействия.

Ключевые слова: инструменты, биотехнология, биотопливо, нетрадиционная энергетика.

В настоящее время в мировой экономике происходит постоянное возрастание веса и влияния высокотехнологичных отраслей, в связи с чем, возникает естественная задача исследования различных механизмов научно-технологического развития, которые соответствуют современным представлениям о научно-техническом прогрессе.

При этом под механизмом научно-технологического развития понимается система взаимоотношений между государством, научно-технической сферой и рыночными силами, которая обеспечивает постоянное совершенствование и обновление технологической вооруженности производства [1].

Страны ЕС занимают лидирующее положение в мире по производству энергии на основе нетрадиционного возобновляемого источника энергии (НВИЭ). Наиболее впечатляющие успехи достигнуты в освоении энергии ветра, солнца, биомассы. В настоящее время не менее 70 % вырабатываемой в мире энергии ветроэнергетическими агрегатами дают страны ЕС-27. Доля стран в мировом производстве энергии ветроэнергетическими установками представлена в табл. 1.

По суммарной мощности установленных солнечных коллекторов Евросоюз прочно удерживает второе место, уступая лишь Китаю. Расширяется использование биомассы в энергетическом хозяйстве ЕС. В 2005–2008 гг. в Австрии, Великобритании, Финляндии, Швеции введены в строй крупные ТЭЦ, работающие на биомассе, включающей сельскохозяйственные, бытовые и различные промышленные отходы, содержащие органику. Растет интерес инвесторов к освоению энергии морских волн и приливов. В 2002–2008 гг. построены и включены в сеть волновые электростанции в Великобритании, Ирландии, Испании.

Условия для развития нетрадиционной энергетики в странах Евросоюза различны. Эти различия обусловлены следующими основными факторами:

- географическими и природными (количество осадков, направление водных потоков, солнечная интенсивность, наличие ископаемых энергоресурсов и др.);
- экономическими (уровень цен на нефть и газ, величина субсидий для энергопроизводства на базе традиционных источников, система экономических стимулов и регуляторов природоохранного характера и др.);
- политическими и социальными (международные обязательства и программы, влияние «зеленых» партий в органах государственной и местной власти, административная инициатива и ответственность, общественное мнение и др.);
- технологическими.

Различные комбинации этих факторов обуславливают современный уровень и перспективы развития нетрадиционной энергетики в отдельных странах. Например, Великобритания, Нидерланды и Румыния, имеющие на своей территории существенные запасы нефти и газа, в меньшей степени озабочены развитием нетрадиционной энергетики, чем большинство стран ЕС. Для использова-

ния солнечной энергии для стран Южной Европы имеют более благоприятные возможности, чем страны Северной Европы. Неудивительно, что Греция по суммарной мощности установленных солнечных коллекторов значительно превосходит Швецию. В свою очередь Швеция располагает более высоким гидроэнергетическим потенциалом. Это отражается в структуре производства электроэнергии на основе возобновляемых источников. Если в Греции почти 80 % «чистой» энергии производится на основе использования солнечной энергии, то в Швеции около 90 % совокупного производства электроэнергии на основе возобновляемых источников приходится на ГЭС.

Благоприятные географические и природные условия являются важной, но не единственной предпосылкой успешного развития возобновляемой энергетики. Так, наилучшими природными условиями для использования ветроэнергетических установок в Европе обладают Великобритания, Ирландия, Франция и Эстония. В результате благоприятных географических и природных условий ветроэнергетические агрегаты в Ирландии могут производить в два раза больше электроэнергии, чем те же агрегаты, установленные в Германии. Однако благодаря эффективным методам государственной поддержки общая мощность установленных в Германии ветроэнергетических агрегатов (более 19 000 МВт) на порядок превосходит мощности всех ветроэнергетических установок Великобритании, Ирландии, Франции и Эстонии вместе взятых.

В условиях глобализации мировой экономики и обострения проблем, связанных с изменением климата, возросла роль международных обязательств как мотивационного фактора освоения альтернативных источников энергии. Выступив в 1997 г. одним из инициаторов Киотского протокола, страны ЕС заявили о готовности на 8 % снизить выбросы «парниковых» газов к 2008–2012 гг., в том числе Германия и Дания – на 21 %, Австралия – 3 %, Великобритания – 12,5 %. Выполнение этих международных обязательств страны ЕС во многом связывают с освоением НВИЭ и повышением их доли в энергетическом балансе. Директивами ЕС и национальными программами стимулирования возобновляемых источников энергии предусмотрено увеличить к 2010 г. долю «чистой» энергии в общем потреблении электроэнергии стран ЕС на 8,1 %, в том числе в Дании – на 20,3 %; Греции – 11,5 %;

Таблица 1

Доля стран в мировом производстве энергии ветроэнергетическими установками

Страны	Доля, %
Германия	32
США	19
Испания	17
Дания	7
Индия	6
Италия	3
Великобритания	2
Нидерланды	2
Португалия	2
Австралия	1
Швеция	1
Остальные страны	8

Швеции – 10,9 %; Великобритании – 8,3 %; Австрии – 8,1 %; Германии – 8 % [2].

Важную роль в развитии нетрадиционной энергетики играет технологический фактор. Освоение нетрадиционных источников энергии опирается на использование прогрессивных технологий и оборудовании, обеспечивающий длительные сроки эксплуатации, с современными системами управления, диагностики и контроля безопасности. Располагающий высоким инновационным потенциалом и передовой энергомашиностроительной базой Германия (фирмы *Tacke, RePower, Enercon*), Дания (*Bonus Energy, Vestas Wind Systems*), Испания (*Gamesa*) не только обеспечивают потребности собственной ветроэнергетики, но и выполняют заказы на ветроэнергетические комплексы для Великобритании, Италии, Франции и других стран.

К этому далеко неполному перечню факторов, определяющий современный уровень и перспективы освоения НВИЭ, необходимо добавить неблагоприятный общественно-политический климат, придуманную стратегию развития и действенный механизм стимулирования развития нетрадиционной энергетики.

Ключевую роль в стимулировании развития нетрадиционной энергетики в странах ЕС принимает на себя государство, которое решает эту задачу с помощью комплекса мер административного, так и экономического воздействия.

Основными методами экономического воздействия являются:

- согласования проектной документации и выдача лицензий на строительство эксплуатации объектов;
- проведение тендеров на реализацию проектов в сфере нетрадиционной энергетики;
- обязательное квотирование производства (потребления) электроэнергии от возобновляемых источников и штрафные санкции за невыполнения установленных обязательств;
- информационная и этическая поддержка возобновляемой энергетики;
- содействие властными структурами разного уровня проведению рекламных компаний, выставок и презентаций энергосберегающих технологий.

Механизм экономического воздействия включает, в частности, следующие инструменты:

- надбавки к тарифам на энергию, получаемую от НВИЭ;
- освобождение производителей «чистой» энергии от энергетических налогов;
- квоты и «зеленые» сертификаты;

- субсидии из специального фонда;
- гарантии на НИОКР в области нетрадиционной энергетики;
- ускоренную амортизацию оборудования;
- доленое финансирование объектов нетрадиционной энергетики (с участием государства, частного бизнеса, местной власти, населения);
- государственное финансирования НИОКР в сфере нетрадиционной энергетики (гранты).

В большинстве стран предпочтение отдается одному из перечисленных инструментов, хотя некоторые страны (например, Австралия, Бельгия) используют более широкую гамму стимулов. Страны, использующие конкретные инструменты экономического воздействия, представлены в табл. 2.

Рассмотрим подробнее инструменты стимулирования развития нетрадиционной энергетики в странах ЕС.

Австрия. Наиболее сложна система поощрения НВИЭ в Австрии. Кроме основных указанных инструментов эта система включает различные виды прямого субсидирования, льготные кредиты, налоговые скидки. При этом, в каждом из девяти регионов Австрии (землях) действует девять различных постановлений, регулирующих тарифы на энергию, получаемую от НВИЭ. Возникают значительные региональные различия в тарифах на энергию, получаемую от одних и тех же видов НВИЭ (по солнечной энергии они достигают отношения 32:1, по энергии биомассы – 8:1). Авторитетные европейские эксперты оценивают австрийскую систему стимулирования НВИЭ как хаотичную, считая более рациональными простые системы с меньшим количеством регуляторов. При этом, как правило, ссылаются на опыт Испании и Дании [2].

Испания. Одним из факторов значительных достижений Испании в использовании энергии ветра являются условия, предъявляемые в этой стране к застройщикам: наряду с инвестициями в объекты ветроэнергетики осуществлять обязательные дополнительные вложения в развитие инфраструктуры или социальной сферы соответствующего региона. Возникающие при этом дополнительные финансовые затраты, как показывает испанская практика, не являются обременительными для инвесторов. Вместе с этим данная сфера инвестирования позволяет значительно снизить сопротивление местного населения и региональных экологических организаций строительству ветроэнергетических установок.

Дания. Успехи Дании в развитии нетрадиционной энергетики во многом связаны с использованием рациональных форм частно-государственного партнерства и при-

Таблица 2

Инструменты экономического воздействия на развитие нетрадиционной энергетики в странах ЕС

Инструменты стимулирования	Страны, использующие данный инструмент
Надбавки к тарифам	Австралия, Германия, Греция, Дания, Испания, Люксембург, Португалия, Финляндия, Франция, Швеция
Освобождение от энергетических налогов Квоты и «зеленые» сертификаты	Нидерланды, Словакия, Франция, Чехия, Швеция
Субсидии из специального фонда, образуемого за счет поступлений от налогов на электроэнергию, выработанную на основе традиционных источников	Австрия, Болгария, Великобритания, Венгрия, Нидерланды
Гранты на НИОКР в области нетрадиционной энергетики	Великобритания, Германия, Дания, Испания, Финляндия

влечением широких масс населения к реализации проектов по освоению возобновляемых источников энергии. В этой стране получила распространение доленая форма финансирования инвестиционных проектов создания и эксплуатации объектов нетрадиционной энергетики (с участием государства, частного бизнеса, местных властей и населения). Такая форма партнерства позволяет не только интегрировать интересы федеральных и местных властей, предпринимателей и населения, но и рационально распределять доходы от бизнеса и возможные риски между участниками конкретного инвестиционного проекта. Многолетний опыт использования данной формы партнерства государства, бизнеса и населения накоплен в ветроэнергетики Дании, где работает более 3 000 установок, совместными собственниками которых являются 150 000 граждан.

В последние годы доленая форма финансирования инвестиционных проектов в сфере нетрадиционной энергетики внедряется в Испании, а испанский опыт дополнительных обязательств инвесторов по развитию социальной сферы и инфраструктуры получает признание в Германии.

Нидерланды. В Нидерландах стимулирование возобновляемой энергетики основано на использовании инструментов налоговой политики. При этом государство опирается на кейнсианскую концепцию стимулирования спроса, освобождая от экологических налогов потребителей энергии, полученной от всех видов возобновляемых источников (с 2002 г. эта льгота отменена для ГЭС). Заметим, что налоговые регуляторы подвержены частым изменениям, поэтому инициативы инвесторов в освоении НВИЭ сдерживаются отсутствием долговременных гарантий и существенными рисками. Голландская модель стимулирования НВИЭ, ядром которой являются налоги, не получила признания в странах ЕС, хотя многие инструменты налоговой политики широко используются в европейских странах, выполняя в национальных системах стимулирования нетрадиционной энергетики преимущественно вспомогательную роль.

Великобритания. Своеобразная система стимулирования нетрадиционной энергетики, основанная на системе квот и сертификатов, внедряется последнее десятилетие в Великобритании. Ее суть состоит в том, что государство устанавливает компаниям минимальную квоту потребления (производства) электроэнергии от возобновляемых источников в общем объеме электропотребления (производства). Например, в 2006–2007 гг. эта квота составляла 6,7 % [3]. При этом вводятся в оборот так называемые зеленые сертификаты, представляющие собой свидетельство и/или соответствующую запись в электронном регистре, подтверждающую факт потребления (производства) определенного количества энергии на основе возобновляемых источников той или иной компании. Компании, не справившиеся с официально установленными квотами потребления (производства) «чистой» энергии, могут зачислять их выполнение путем покупки «зеленых» сертификатов у организаций, имеющих «избыточную» долю потребления (производства) «чистой» энергии. В свою очередь, компании, превысившие официально установленные квоты, могут продавать эти «из-

лишки» по рыночным ценам. Таким образом, создается регулируемый государством рынок «зеленых» сертификатов. Логическим дополнением этой схемы формирования рынка «чистой» энергией являются штрафные санкции, применяемые к компаниям, не выполняющим установленные квоты потребления (производства) электроэнергии, выработанной на основе возобновляемых источников.

Апробированная в Великобритании модель стимулирования альтернативной энергетики, сочетающая методы прямого государственного регулирования с механизмами рынка, с 2003 г. внедряется в энергетическом хозяйстве Швеции, а в последние годы получает также признание в Австрии, Бельгии, Италии.

Германия. Наряду с ветроэнергетикой в странах ЕС бурно развивается гелиоэнергетика. Лидером в использовании энергии солнца среди европейских стран является Германия, где установлена почти половина мощностей солнечной электроэнергетики Евросоюза. Причины успеха германской гелиоэнергетики во многом обусловлены значительной государственной поддержкой этой отрасли. Так, реализуемая в Германии федеральная Программа «100000 солнечных крыш» предусматривает финансовые субсидии инвесторам в размере 0,51 млрд евро и является самой крупной в мире программой финансирования в сфере солнечной энергетики. Государство оказывает финансовую поддержку строительству домов новой конструкции, в которых отопительная система основана не на использовании ископаемых топлив, а на применении солнечных коллекторов, установленных на крышах домов и преобразующих солнечную энергию в тепловую.

Аналогичные программы стимулирования инвестиций на освоение и использование солнечной энергии в жилищном секторе приняты в Испании, Люксембурге, Португалии. Государственные субсидии позволяют частным инвесторам наполовину снизить расходы на установку солнечных панелей и примерно вдвое сократить издержки производства энергии на основе солнечного излучения.

Основным инструментом стимулирования развития солнечной энергетики, так же как и ветроэнергетики, в большинстве стран ЕС служат надбавки к тарифам. При этом действует гибкая шкала надбавок для генерирующих компаний различной мощности, форм собственности. В Германии, например, компенсацию получают лишь малые установки (мощностью не более 5 МВ), в Португалии – поддерживаются и более мощные генерирующие установки, однако для них компенсационные доплаты за 1 кВт/ч электроэнергии вдвое меньше, чем для малых установок. В Люксембурге частные генерирующие компании за 1 кВт/ч электроэнергии, выработанной фотоэлектрическими элементами, получают вдвое больше компенсации по сравнению с муниципальными производителями. Общим методом государственного регулирования рынка гелиоэнергетики в странах ЕС является использование регрессивных надбавок. В Германии, например, надбавки к тарифам на электроэнергию, выработанную установками на основе солнечного излучения, ежегодно снижаются на 5 % по сравнению с предыдущим годом, в Люксембурге – почти на 10 % [3].

Европейский опыт показывает, что единой системе стимулирования нетрадиционной энергетики в ЕС пока не сложилось. Каждая страна находится в поиске рациональных схем и эффективных инструментов стимулирования. Вместе с этим можно констатировать, что наибольшее признание в Европе получают две модели мотивации освоения НВИЭ: компенсационная и квотная. В первой государство воздействует на производство и поставки «чистой» энергии, гарантируя генерирующим компаниям долговременные фиксированные цены на электроэнергию от НВИЭ. При этом предполагается минимизация негативного влияния конъюнктуры рынка на динамику энергопотребления и рисков для инвесторов. Вторая модель, в отличие от первой, предполагает сочетание методов прямого административного регулирования (квотирование) с механизмами рынка (торговля «зелеными» сертификатами по рыночным ценам).

В последние годы производство и использование биотоплива приобретает все более широкие масштабы во многих странах мира. Так, в США довольно значительная часть собранной кукурузы направляется на производство этанола, используемого в качестве топлива для автомобилей. В прошлом году урожай этой зерновой культуры в стране достиг 10,5 млрд буш., почти 1/5 из которых была переработана на 112 американских заводах в 5 млрд галл. этанола. Если все американские фабрики по производству этанола, которые находятся на реконструкции или в стадии строительства, в ближайшее время начнут действовать, то к 2008 г., по оценки экспертов журнала «Business Week», на сырье для получения этанола будет направляться не менее половины общего объема урожая кукурузы в США [4].

Производство биотоплива вызывает повышенный интерес не только в Соединенных Штатах, но и странах ЕС. Так, министры энергетики государства (членов Евросоюза) выступили с предложением к 2012 г. довести этот показатель до 10 %. Однако пока большинство стран ЕС не выполнили даже ранее поставленную задачу о замене 2 % используемого топлива биотопливом к 2005 г. Этой цели достигли только Швеция и Германия. Одной из причин этого, как отмечают эксперты, является высокая себестоимость производства биотоплива, несмотря на различные сельскохозяйственные субсидии, выделяемые фермерам в странах ЕС. Так, по расчетам британских эконо-

номистов, 1 литр дизельного топлива, произведенного из рапсового семени, стоит примерно на 0,3 евро дороже обычного топлива, полученного из нефти.

С целью стимулирования использования биотоплива Германия, наиболее активно из стран ЕС занимающаяся решением проблемы замены обычного топлива его экологически чистым аналогом, обязала немецкие нефтеперерабатывающие заводы добавлять в определенной пропорции биотопливо в производимую ими продукцию. Великобритания с 2008 г. планирует принять аналогичные меры, а также налагать штраф в размере 15 пенс. за литр топлива на предприятия, которые не выполняют данное требование.

Увеличение производства биотоплива внесет существенные изменения в сельское хозяйство и окажет влияние на развитие фермерских хозяйств. Так, повышение стоимости кукурузы, вызванное увеличением спроса на производимый из нее этанол, уже привело к росту цен на соя-бобы и другие зерновые культуры, а также на продукты питания. Затем повышение цен может затронуть мясо, птицу и безалкогольные напитки. Американские производители куриного мяса отмечают, что их расходы уже возросли на 1,5 млрд долл. в год.

Развитие биотехнологии должно быть признано приоритетом государственной политики: адекватными формами организационной, финансовой и информационной поддержки как на федеральном, так и региональном уровнях, законодательным обеспечением, стимулированием бизнеса и частно-государственного партнерства.

Библиографический список

1. Багриновский, К. А. Проблемы проектирования механизма научно-технологического развития [Электронный ресурс] / К. А. Багриновский. Электрон. дан. – Режим доступа: www.stra.teg.ru. Загл. с экрана.
2. Клавдиенко, В. Стимулирование развития нетрадиционной энергетики в странах ЕС / В. Клавдиенко // Проблемы теории и практики управления. 2009. № 6. С. 61.
3. Гончаров, В. Опыт формирования и управления инновационной средой в США / В. Гончаров // Проблемы теории и практики управления. 2009. № 6. С. 63.
4. О влиянии расширения использования биотоплива на сельское хозяйство и мировую экономику // БИКИ. 2007. № 38 (9134). С. 4.

S. A. Belyakov

THE MECHANISM OF STIMULATING THE DEVELOPMENT OF BIOTECHNOLOGIES IN FOREIGN COUNTRIES

Biotechnology is one of the scientifically-practical priorities of the 21st century. The key role in stimulating development of biotechnology in foreign countries belongs to the state, which solves this problem by means of a complex of measures – with both, administrative and economic influence.

Keywords: tools, biotechnology, biofuel, nonconventional power.

© Беляков С. А., 2009

С. И. Сенашов, Н. Ю. Юферова, Е. В. Сурнина

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ КВАРТИР НА ВТОРИЧНОМ РЫНКЕ ЖИЛЬЯ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЯМИ

Рассматриваются аспекты инвестиционной привлекательности объектов недвижимости. Анализируются основные методы оценки недвижимости. Предлагается методика построения информационной системы оценки стоимости объектов инвестирования.

Ключевые слова: инвестиции, информационная система, моделирование, оценка стоимости недвижимости.

Целью работы является управление базой данных однокомнатных квартир, выставленных на продажу в г. Красноярске, для оценки стоимости отдельно взятого объекта недвижимости и грамотного инвестирования капитала.

Предмету настоящей работы наиболее соответствует следующее определение инвестиции: инвестиции – это долгосрочное вложение капитала для будущего повышения благосостояния инвестора. При этом подразумевается, что основной целью инвестиции является достижение результата (повышение благосостояния), выраженного в денежной форме.

Другими словами, степень эффективности инвестиций определяется путем сопоставления выраженных в виде денежных потоков ресурсов и результатов их использования.

При этом процедуру сопоставления в общеэкономической практике принято называть анализом инвестиции или анализом эффективности инвестиции.

Как правило, в процессе анализа инвестиции решаются следующие задачи:

- выявление экономической целесообразности инвестиции, т. е. выявление абсолютного превышения результатов над вложенными ресурсами;
- выявление наиболее эффективной инвестиции среди альтернативных;
- выявление наиболее эффективного портфеля инвестиции.

В абсолютном большинстве случаев целью анализа инвестиций является обоснование инвестиционного решения, которое должен принять инвестор.

Преимущества инвестирования в недвижимость. Согласно данным, предоставленным ВЦИОМ, большая часть жителей России (51 %) считает самым выгодным вложением покупку недвижимости. Значительно отстали «приобретение золота и драгоценностей» – 19 % и «хранение денег в Сбербанке» – 17 %. Даже в условиях кризиса недвижимость меньше всего подвержена обесцениванию. Инвестиции в недвижимость – это всегда вложения в реальные активы.

Под термином «инвестиции (вложения) в недвижимость» зачастую понимается приобретение готовых жилых или нежилых объектов, исключительно с целью перепродажи. Под это определение не попадает недвижимость, купленная для непосредственного использования покупателем, например, для жилья или бизнеса, за исключением сдачи в аренду.

Кроме того, не является вложением в недвижимость и приобретение недостроенных объектов, в данном слу-

чае осуществляются инвестиции в строительство. Обсуждение достоинства вложений в недвижимость будет происходить с учетом сравнения их для наглядности с банковским депозитом и ценными бумагами – акциями предприятий, паевых фондов и пр.

Основное и неоспоримое достоинство инвестиций в недвижимость – это их надежность. Банк, в котором лежит вклад, может разориться, предприятие, акции которого приобретены, – обанкротиться. Недвижимость имеет существенно меньшие риски. Ее невозможно потерять, нельзя украсть, дефолты и прочие экономические потрясения способны лишь несколько изменить ее цену, да и то, как правило, временно. Она подвержена рискам, возникающим при природных катаклизмах, а в последнее время еще и риску судебных разбирательств, связанному с нарушениями природоохранного законодательства (относится в большей степени к домам).

Следующим моментом, который делает инвестиции в недвижимость притягательными в качестве средства хранения сбережений, является очень быстрый рост стоимости или, как говорят специалисты, быстрая капитализация. То, что куплено в прошлом году сегодня стоит в полтора, а то и два раза дороже, в зависимости от местоположения. Анализ цены квадратного метра жилья в крупных городах показывает, что капитализация городского жилья составляет в среднем 65 % в год. Таким ростом могут похвастаться далеко не все успешные компании. Не стоит также забывать, что недвижимость может приносить дополнительный стабильный доход, если сдавать ее в аренду. Ресурс роста арендных ставок еще достаточно велик. Но возникает вопрос: «В какую лучше недвижимость инвестировать средства?».

Определение инвестиционной привлекательности объектов недвижимости. Инвестиционная привлекательность того или иного объекта недвижимости определяется соотношением инвестиционной и рыночной стоимости объекта (под инвестиционной стоимостью понимается та цена, за которую объект можно будет продать).

На степень привлекательности объекта недвижимости влияют следующие факторы: риски, с которыми придется столкнуться, степень спроса, соотношение прогнозируемых результатов и затрат, уровень конкуренции, продолжительность ведения проекта, а также потребность в капитале.

Непосредственно на инвестиционную стоимость объекта оказывают влияние несколько иные факторы. В первую очередь, это параметр местоположение, который

определяет степень востребованности здания в будущем. Местоположение включает в себя:

- престижность района;
- социальное окружение;
- инфраструктуру: транспортную и социальную;
- экологическую ситуацию в районе.

Немаловажны такие факторы как архитектурно-конструктивное и объемно-планировочное решение, а также техническое состояние здания и характеристики, имеющие отношение к самому объекту – дому и квартире:

- архитектура и индивидуальность проекта;
- внешняя привлекательность дома;
- планировочные решения квартир;
- высота потолков;
- число и площадь квартир в доме, на этаже;
- технология строительства;
- материалы несущих и ограждающих конструкций;
- отделка фасада и общественных зон;
- инженерия дома: сантехническое и электротехническое оборудование, удаление мусора, кондиционирование, очистка воздуха, лифты;
- инфраструктура дома: размер, благоустройство и ограждение территории, охрана, парковка, социальная инфраструктура, сервисные составляющие, состояние подъезда;
- физический износ дома, уровень шума, чистота воздуха и воды;
- видовые характеристики из окон квартиры;
- наличие в квартире лоджий, балконов;
- стадия застройки, срок сдачи объекта [1].

Вышеперечисленные факторы инвестиционной привлекательности позволяют определить стоимость объекта недвижимости.

Основные методы оценки объектов инвестирования.

В мировой практике, как правило, используются методы оценки жилья исходя из экономических факторов (например, персональная прибыль, численность населения, состояния рынка ценных бумаг и т. д.), а также технические характеристики самого объекта (состояние окон, дверей, дома в общем и т. д.). Но в последнее время для жителей развитых городов большее влияние оказывает фактор местоположения, об этом говорит тот факт, что разброс цен на рынках первичного и вторичного жилья в одном районе не велик. Проведенные 10 лет назад исследования в г. Красноярске показали значимость района при оценке стоимости квартиры.

В общем случае для получения результатов о стоимости объекта, к оценке собственности применяется три подхода.

Затратный подход основан на принципе, согласно которому осведомленный покупатель не заплатит цену большую, чем цена воссоздания собственности, имеющей полезность, одинаковую с рассматриваемой собственностью. Этот подход требует определения нескольких видов износа оцениваемого имущества: физического, функционального и износа, полученного в результате внешнего воздействия, или экономического износа. В свою очередь, расчет по «типовым» сметам, СНиПам и т. п. с учетом всех реальных дополнительных затрат, определением совокупного износа здания в целом и «вычле-

нения» стоимости единицы площади квартиры приведет к большой погрешности при вычислениях.

Сравнительный подход основан на принципе, согласно которому осведомленный покупатель не заплатит за собственность больше, чем цена приобретения другой собственности, имеющей равную полезность. Данный подход служит для оценки рыночной стоимости объекта, исходя из данных о совершаемых на рынке сделках. При этом рассматриваются сопоставимые объекты собственности, которые были проданы или, по крайней мере, предложены в продажу. Затем делаются поправки на различия, так называемые корректировки, которые существуют между оцениваемым и сопоставимым объектами. Откорректированная цена позволяет определить наиболее вероятную цену продажи оцениваемого объекта, как если бы он был предложен на открытом и конкурентном рынке.

В условиях «пассивного» рынка продаж некоторые выводы могут быть сделаны и из информации о ценах предложения, которые характеризуют сам факт существования на рынке предложений подобных объектов.

Главная проблема в случае сравнительного подхода – трудность с получением необходимой информации, выбором аналога, адекватного оцениваемому объекту, с учетом степени несовпадения состава и численных значений характеристик аналога и оцениваемого объекта. При наличии достаточной информации в рамках этого метода оправдано построение и использование статистических или параметрических моделей ценообразования, выражающих зависимость средней цены объекта от состава и значений его технических характеристик.

Доходный подход позволяет определить стоимость приносящего доход имущества посредством учета количества, качества и продолжительности получения тех выгод, которые данный объект будет приносить в течение прогнозного периода времени. В результате анализа, ожидаемые от собственности будущие поступления, а также доход от продажи объекта в конце прогнозного периода, дисконтируются на дату оценки в текущую стоимость. Доходный подход основывается на принципе ожидания, согласно которому потенциальный покупатель делает вывод о стоимости собственности в зависимости от ожидаемой отдачи, которая может быть получена в будущем от владения имуществом. При применении данного подхода анализируется возможность недвижимости генерировать определенный доход, который обычно выражается в форме дохода от эксплуатации и возможной продажи в конце периода владения. Применительно к объекту оценки можно гипотетически предположить, что он приобретает не как «квартира для проживания», а как объект для извлечения прибыли от сдачи его в аренду и последующей (возможной) продажи [2].

Некорректность доходного подхода выявляется прежде всего в том, что, квартира будет использоваться исключительно для целей проживания, т. е. будущий собственник не планирует сдавать ее в аренду с целью извлечения дохода. Договора аренды в подавляющем количестве случаев нигде не регистрируются, а оплата производится в виде не облагаемой налогом наличной суммы, что затрудняет сбор достоверной информации о разме-

ре арендной платы и ставок аренды по объектам-аналогам.

В данном исследовании были построены модели, основанные на методе сравнения продаж.

Создание информационной системы оценки объектов инвестирования. Главной задачей работы является автоматизация расчетов по оценке стоимости 1-комнатной квартиры в г. Красноярске.

Предметной областью исследования был выбран рынок жилья г. Красноярска. Учитывая его необъятность, для рассмотрения была выбрана продажа только 1-комнатных квартир на вторичном рынке.

Несмотря на то, что рынки жилья отличаются исходя из своего географического местоположения, общая идея моделирования может быть использована для разных городов. Но стоит учитывать, что каждый город будет нуждаться в индивидуальной корректировке.

Анализ распределения стоимости однокомнатных квартир, выставленных на продажу в январе 2009 г., показал, что распределение близко к нормальному, при этом наблюдается наличие правосторонней асимметрии (правая ветвь относительно максимальной ординаты вытянута больше, чем левая). Рассмотрение этого факта с экономической точки зрения, означает, что имеются квартиры, как с высокой, так и с низкой стоимостью, при этом рынок является однородным.

Большинство квартир попадают в интервал от 1150 до 1850 тыс. руб. Это показывает, что в основной массе рынок представлен квартирами, меньшими средней стоимости 1681 тыс. руб., как правило, за счет своего местоположения и лишь небольшая доля рынка приходится на жилые объекты, рассчитанные на удовлетворение высоких запросов клиентов, и квартирами, обладающими низкими потребительскими свойствами. Такие квартиры имеют большую площадь, расположены в престижных районах города.

Для расчета стоимости квартиры в январе 2009 г. строились модели, с применением к ним регрессионного анализа для определения значимости параметров.

Построены модели трех видов, принятые в мировой практике:

– аддитивная модель

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 + b_{10}X_{10} + b_{11}X_{11} + b_{12}X_{12}; \quad (1)$$

– мультипликативная модель

$$Y = b_0 \cdot X_1^{b_1} \cdot X_2^{b_2} \cdot X_3^{b_3} \cdot X_4^{b_4} \cdot X_5^{b_5} \cdot X_6^{b_6} \cdot X_7^{b_7} \times X_8^{b_8} \cdot X_9^{b_9} \cdot X_{10}^{b_{10}} \cdot X_{11}^{b_{11}} \cdot X_{12}^{b_{12}}; \quad (2)$$

– комбинированная модель

$$Y = X_1^{b_1} + b_0 \cdot X_2^{b_2} \cdot X_3^{b_3} \cdot X_4^{b_4} \cdot X_5^{b_5} \cdot X_6^{b_6} \cdot X_7^{b_7} \times X_8^{b_8} \cdot X_9^{b_9} \cdot X_{10}^{b_{10}} \cdot X_{11}^{b_{11}} \cdot X_{12}^{b_{12}}, \quad (3)$$

где X_1 – коэффициент престижности района (см. таблицу [1]); X_2 – планировка: значения переменной определены для квартир типа «хрущевка» ($X_2 = 1$), «ленинградка» ($X_2 = 2$), «улучшенная планировка» ($X_2 = 3$), «сталинка» ($X_2 = 4$), «новая планировка» ($X_2 = 5$), «индивидуальная» ($X_2 = 6$); X_3 – материал стен: в выборку включались квартиры, материал стен которых моноблок ($X_3 = 3$), панель ($X_3 = 1$) и кирпич ($X_3 = 2$); X_4 – этаж: использовались две группы квартир, в зависимости от этажа – квартира находится на первом или последнем этажах ($X_4 = 0$), а также квартиры, расположенные на остальных этажах ($X_4 = 1$); X_5 – этажность; X_6 – общая площадь квартиры, м²; X_7 – жилая площадь квартиры, м²; X_8 – площадь кухни, м²; X_9 – телефон: есть ($X_9 = 1$), нет ($X_9 = 0$); X_{10} – санузел: совмещенный ($X_{10} = 1$), отдельный ($X_{10} = 2$); X_{11} – балкон/лоджия: балкон и лоджия вместе ($X_{11} = 3$), лоджия ($X_{11} = 2$), балкон ($X_{11} = 1$), нет ($X_{11} = 0$); X_{12} – плита: электрическая ($X_{12} = 2$), газовая ($X_{12} = 1$), нет ($X_{12} = 0$); Y – цена, тыс. руб.; $b_0 \dots b_{12}$ – коэффициенты регрессии.

В ходе исследования с имеющимся набором данных получены следующие уравнения:

– аддитивная модель

$$Y = 153,308 + 47,699X_1 + 59,832X_3 + (64,000) \quad (3,530) \quad (18,145)$$

Коэффициенты престижности района

Ранг	Наименование района	X_1
1	Академгородок	7,68
2	Центр – микрорайон Северный – ул. Копылова – ул. Железнодорожников	7,09
3	Микрорайон Взлетка	6,07
4	Студенческий городок – ул. Предместная – к-т «Юбилейный»	5,19
5	Микрорайон Ветлужанка	3,87
6	К-т «Космос» – ул. Л. Кецховели – ул. Красномосковская	3,54
7	Краевая больница – Больница скорой медицинской помощи	3
8	Пр. Свободный	2,71
9	Микрорайон Зеленая роща – микрорайон Солнечный	2,73
10	Затон – микрорайон Покровка	2,41
11	Ул. Калинина – микрорайон Северо-западный – микрорайон Пашенный	2,04
12	Торговый центр – к-т «Родина» – ТЮЗ – к-т «Спутник» – м-н «Океан» – м-н «Баджей»	1,42
13	К-т «Енисей» – ст. Енисей	0,93
14	Микрорайон Первомайский – Злобино	0,8
15	КрасТЭЦ	0,25
16	Микрорайон Водники	-1,11
17	Черемушки – Энергетики – Шинники	-1,98

$$+ 27,947X_6 + 23,236X_8 + 99,695X_{12}; \quad (4)$$

(2,366) (7,400) (10,171)

– мультипликативная модель

$$Y = 119,845 \cdot X_1^{0,033} \cdot X_3^{0,080} \cdot X_6^{0,617} \cdot X_8^{0,144} \cdot X_{10}^{0,051} \cdot X_{12}^{0,082}; \quad (5)$$

(17,195) (0,004) (0,017) (0,052) (0,039) (0,021) (0,011)

– комбинированная (смешанная модель)

$$Y = 46,846 \cdot X_1 + 98,379 \cdot X_3^{0,062} \cdot X_4^{0,039} \cdot X_6^{0,671} \cdot X_8^{0,114} \cdot X_{12}^{0,117}. \quad (6)$$

(3,54) (14,719) (0,017) (0,019) (0,055) (0,039) (0,012)

Данные по однокомнатным квартирам г. Красноярска взяты с сайтов риэлтерских компаний города [3; 4]. В результате была получена выборка, содержащая около 2 000 квартир, представленных в формате файла Excel. Это позволило создать небольшую программу обработки данных на языке Visual Basic for Application. Данная программа удаляла из первоначальной таблицы некорректные данные. Таким образом, в исследовании участвовало 1 060 однокомнатных квартир города Красноярска. Разработанная программа также позволяет преобразовать качественные данные в количественные.

Регрессионный анализ для определения значимости факторов проводился с помощью компьютерных программ STATISTICA 6,0 и EViews 5,1.

Для каждого уравнения регрессии была выполнена проверка на адекватность, включающая в себя следующие:

- расчет F-статистики (критерия Фишера);
- расчет коэффициента детерминации R-квадрат;
- проверка условий Гаусса–Маркова.

В ходе полученных исследований выяснено, что наиболее адекватными, значимыми моделями, имеющими несмещенные оценки коэффициентов, являются аддитивная и комбинированная. Перечислим наиболее значимые факторы, влияющие на стоимость квартиры:

- коэффициент престижности района – наиболее значимый;
- материал стен, показывающий качество объекта недвижимости;
- общая площадь квартиры;
- площадь кухни;
- вид плиты – фактор, влияющий на безопасность квартиры и дома в целом.

В результате регрессионного анализа из модели были исключены такие характеристики объекта как планировка и площадь жилая в силу малой значимости коэффициентов при этих переменных.

Создана информационная система «Квартиры», позволяющая автоматизировать процесс расчета стоимости квартиры по выбранной модели оценки.

Главными достоинством является взаимодействие разработанного приложения с внешними программными продуктами STATISTICA и EViews для повышения точности расчетов, вместе с тем, исключая необходимость пользователю разбираться в интерфейсе этих мощных средств статистического анализа.

Программа имеет следующую структуру нормативно-справочной информации:

- общие справочники, содержащие числовые эквиваленты качественных параметров квартиры (данные этих справочников одинаково используются при расчетах);
- справочники, содержащие модели расчета стоимости жилья.

Приложение автоматизирует функции управления и обработки данных. При этом можно выделить и детализировать два подмножества функций: реализующие служебные и основные функции обработки информации.

К служебным функциям относятся:

- идентификация пользователя;
- ведение календаря, необходимого при создании отчетов.

К основным функциям относятся:

- ведение справочников;
- функции редактирования базы данных, включая ввод и удаление информации;
- поиск;
- сортировка;
- создание отчета при расчете стоимости;
- экспорт базы данных в Excel.

При необходимости можно добавлять и другие параметры в справочники (переменные в модель), предварительно закодировав качественную информацию в числовые значения. Моделирование будет происходить по тому же принципу.

Основное достоинство информационной системы «Квартиры» – возможность пересчитывать модель, а также выявлять факторы, влияющие на формирование стоимости объекта недвижимости, исходя из имеющейся базы данных.

Экономическая эффективность использования информационной системы «Квартиры» состоит в снижении годового показателя трудозатрат на 98,7%, расчет срока окупаемости при внедрении составит 9,5 месяца [2].

Полученные результаты могут быть использованы риэлтерскими агентствами; фирмами, занимающимися профессиональной оценкой недвижимости; городскими отделами недвижимости; налоговыми органами; отдельно взятыми гражданами.

Библиографический список

1. Грибовский, С. В. Оценка доходной недвижимости : учеб. пособие для вузов / С. В. Грибовский. СПб : Питер, 2001.
2. Максимов, С. Н. Основы предпринимательской деятельности на рынке недвижимости : учеб. пособие для вузов / С. Н. Максимов. СПб : Питер, 2000.
3. Электронный сайт «Жилком» [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://gilcom.ru/objects/sale?page=6>. Загл. с экрана.
4. Электронный сайт «Жилком» [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.profdom.ru/search_variants. Загл. с экрана.

S. I. Senashov, N. Yu. Juférova, E. V. Surnina

COST ESTIMATION OF APARTMENTS' INFORMATION SYSTEM AT SECONDARY HOUSING MARKETS AS A MANAGEMENT TOOL FOR INVESTMENTS

Aspects of investments appeal of objects had been studied. The basic estimation methods of the real estate market were analyzed. A method of constructing cost estimation information system of investment objects is offered.

Keywords: investments, information system, modeling, estimation of real estate cost.

© Сенашов С. И., Юферова Н. Ю., Сурнина Е. В., 2009

УДК 82.05.09.007

Т. А. Клименкова

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ СФЕРЫ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ РЫНКА

Рассмотрены принципы построения и функционирования системы управления предприятием сферы услуг в условиях рынка. Представлена модель причинно-следственных связей, отражающая влияние управленческого воздействия на бизнес-процессы обеспечения привлекательности услуг предприятия. Приводится методика оценки качества управления предприятием сферы услуг.

Ключевые слова: система управления, услуги, качество, принципы.

Развитие интеграционных процессов в экономике и взаимосвязей между территориями предполагает высокий уровень развития сферы услуг и торговли как связующего звена хозяйственного механизма. Открывающиеся перспективы роста объемов предоставления услуг делают этот сектор весьма привлекательным для инвестиций и приложения предпринимательской активности. Очевидно, выйти на данный рынок и закрепить на нем свои позиции смогут те предприятия, услуги которых будут соответствовать мировым стандартам качества и обладать высокой ценностью для потребителей, выгодой от ее приобретения.

Анализ проблем совершенствования системы управления предприятием сферы услуг показал, что, во-первых, потребностям формирования и развития качества управления по совокупности характеристик в настоящее время не уделяется должного внимания. Во-вторых, существующие подходы к пониманию качества управления предприятием не в полной мере ориентированы на особенности сферы услуг. Как следствие, управление предприятиями сферы услуг зачастую оказывается неспособным обеспечивать получение необходимого результата – услуги, отвечающей требованиям потребителей по всем компонентам. В итоге, при сложившемся высоком уровне конкуренции на потребительском рынке предприятие рискует уменьшить или потерять главное конкурентное преимущество – качество предлагаемых услуг. В-третьих, при оценке и проектировании системы менеджмента предприятия не учитывается влияние качества управления на качество услуг, что не позволяет после преобразования ресурсов в процессе деятельности на выходе получить услугу, востребованную потребителя-

ми как в настоящий момент, так и в стратегической перспективе.

Следует отметить, что большое внимание в научных исследованиях и публикациях уделяется таким областям знаний, как эффективный и конкурентоспособный менеджмент, управление качеством, в то время как о качестве самой системы управления речь ведут лишь отдельные ученые. Рассматривая зависимость качества услуг от характера управленческих процессов, можно отметить, что далеко не все проблемные области получили достаточное отражение в научных исследованиях.

Анализ существующих подходов к совершенствованию менеджмента показал, что они не в полной мере учитывают необходимость развития качества управления как условия повышения качества услуг, уменьшая возможность комплексно проектировать системы управления в разрезе трех измерений: эффективности, конкурентоспособности и качества. Разрабатываемые методические, организационные и экономические подходы к совершенствованию управления предприятием сферы услуг, позволяющие повысить его качество, должны учитывать специфические особенности объекта управления и обеспечивать повышение качества услуг и наиболее полное удовлетворение спроса населения.

Для решения отмеченных выше проблем необходимо разработать теоретические и методические положения по совершенствованию системы управления, более полно учитывающие особенности деятельности предприятий сферы услуг и необходимость повышения качества услуг, предлагаемых на рынке. Это обусловило актуальность выполненного исследования, объектом которого стали предприятия сферы услуг, осуществляющие дея-

тельность в условиях рынка. Предмет исследования – управленческие отношения, возникающие в процессе функционирования и развития предприятия сферы услуг.

Принципы построения и функционирования системы управления предприятием сферы услуг в условиях рынка. Сложившиеся условия развития сферы услуг ставят задачу повышения качества менеджмента при совершенствовании системы управления предприятием, что является главным условием увеличения качества предлагаемых на рынке услуг с учетом изменения потребностей клиентов. Достижение перечисленных выше характеристик качества управления напрямую зависит от того, насколько они интегрируются в деятельность предприятия сферы услуг и закрепляются в правилах работы. Совершенствование управления предприятием сферы услуг и развитие его качества обеспечивается реализацией принципов менеджмента, раскрывающих его специфику.

Обобщение существующих принципов управления [1; 2], а также эффективного, конкурентоспособного менеджмента в экономике услуг позволило выделить наиболее актуальные из них в современных условиях хозяйствования, исходя из необходимости построения управления, обладающего названными характеристиками качества.

Принимая во внимание специфику деятельности предприятий сферы услуг, характер влияния различных факторов на качество услуг, дальнейший анализ позволил сформулировать специальные принципы, относящиеся к рассматриваемому понятию качества управления предприятием сферы услуг и направленные на обеспечение заданного качества услуг:

1. Принцип сбалансированности совершенствования системы управления. Согласование изменений в управлении предприятием сферы услуг по параметрам качества, эффективности и конкурентоспособности.

2. Принцип синхронности перемен. Согласование скорости внешних и внутренних перемен, готовность к изменениям. Предполагает прогнозирование изменений на рынке потребительских услуг, выявление новых направлений, проведение своевременных корректировок, включая отказ от бесперспективных видов деятельности, преодоление стереотипов мышления.

3. Принцип распознавания и обогащения средств воздействия в соответствии с изменениями запросов клиентов. Включает необходимость учета особенностей и компонентов услуги как результата деятельности и управления, их взаимосвязей при проектировании технологий управления, а также наиболее полное использование коммуникаций с потребителем услуг (поскольку оказание услуги и ее потребление связаны между собой, а чаще всего происходят одновременно).

Представленные принципы являются дополнением к существующим правилам построения и функционирования системы управления предприятием сферы услуг, что открывает новые возможности совершенствования технологий менеджмента по предложенным характеристикам его качества, предусматривая учет и воздействие на факторы качества услуг.

Модель причинно-следственных связей, отражающая влияние управленческого воздействия на бизнес-

процессы обеспечения привлекательности услуг предприятия. Характер, направление и сила управленческого воздействия влияет на создание базы для реализации рыночной стратегии и достижение предприятием поставленных целей. Часто стратегия не осуществляется потому, что управление не может должным образом сформировать имеющийся потенциал для реализации стратегических задач. В особенности это относится к повышению качества услуг.

Обеспечение системой управления повышения качества услуг опосредовано через воздействие на внутренние бизнес-процессы. Совершенствование управления по характеристикам его качества влияет на финансовые результаты через цепь причинно-следственных связей (рис. 1).

Особое значение управленческие преобразования приобретают при достижении их соответствия рыночной стратегии предприятия.

Вместе с тем, совершенствование управления преимущественно имеет для организации потенциальную, но не рыночную стоимость. Внутренние процессы, такие как управление персоналом, обеспечение ресурсами, организация продажи услуг, необходимы, чтобы трансформировать потенциальную стоимость совершенствования качества управления в качество услуг, повышение объемов продаж [3]. Для этого они должны быть направлены на предложение потребительской ценности клиенту или финансовые улучшения.

Предложение услуг, отвечающих требованиям потребителей по всем компонентам, в данном случае – условие, при котором качество управления создает качество услуг. Постоянное соответствие действий и возможностей предложению потребительской ценности клиентам является решающим фактором воплощения стратегии в жизнь.

Цели повышения качества услуг и качества управления связаны друг с другом причинно-следственными отношениями. Финансовые результаты могут быть получены только в том случае, если удовлетворена целевая группа клиентов. Предложение потребительской ценности клиентам описывает, как увеличить продажи и завоевать лояльность целевых клиентов. Внутренние процессы создают и предоставляют клиенту это предложение. И наконец, система управления осуществляет воздействие на внутренние процессы и факторы качества услуг, интегрируя все составляющие в рамках реализуемой рыночной стратегии.

Таким образом, представленная модель является вспомогательным инструментом разработки программ достижения необходимого уровня качества услуг для потребителей. Построение системы управления, обладающей характеристиками качества, создает необходимые предпосылки для успешной реализации стратегических изменений в организации сферы услуг, переводящих ее в такое состояние, в котором она будет готова к проведению стратегии в жизнь.

Методика оценки качества управления предприятием сферы услуг. Формирование характеристик качества управления предприятием сферы услуг должно основываться на специальной диагностике состояния системы

управления, ее воздействия на факторы качества услуг, что обуславливает потребность разработки соответствующей методики оценки (рис. 2).

Оценка качества управления предприятием сферы услуг должна проводиться по двум направлениям:

- оценка наличия и степени проявления характеристик качества управления – ориентация на будущее, лидерство руководства, инновационность, вовлеченность персонала, внимание к процессам, воспроизводство знаний, способность к переменам;

- оценка способности обеспечения результата для потребителей по компонентам услуги – материальная составляющая, стоимость (цена), время и условия оказания, информационное сопровождение, имидж фирмы и непосредственное обслуживание.

Для этого предлагается составить соответствующие матрицы:

1. Матрицу анализа характеристик качества управления: по строкам указываются элементы системы управления, а в столбцах – характеристики качества управления.

2. Матрицу анализа способности обеспечивать результат для потребителей: по строкам указываются элементы системы управления, а в столбцах – компоненты услуги как результата управления.

В полях матриц формируется общая оценка по двум показателям (рис. 2), каждый из которых составляет 0,5 балла.

Количество исследуемых элементов управления как системы определяется целями оценки.

По строкам матриц подсчитывается общее количество баллов, которое набрал конкретный элемент системы управления при оценке свойств (Эс) и результатов управления (Эр).

На основе полученных экспертных оценок проводится расчет коэффициентов качества управления.

Коэффициенты характеристик управления (КУс):

1. По элементам системы управления:

$$КУс_i = \frac{Эс_i}{7} ;$$

где Эс – общее количество баллов, которое набрал конкретный элемент системы управления при оценке характеристик качества.

2. В целом для системы управления

$$\overline{КУс} = \frac{\sum_{i=1}^n КУс_i}{n} .$$

Коэффициенты показывают, в какой степени обладают элементы системы управления характеристиками качества.

Коэффициенты способности управления обеспечить получение результата, отвечающего требованиям рынка (КУр):

1. По элементам системы управления:

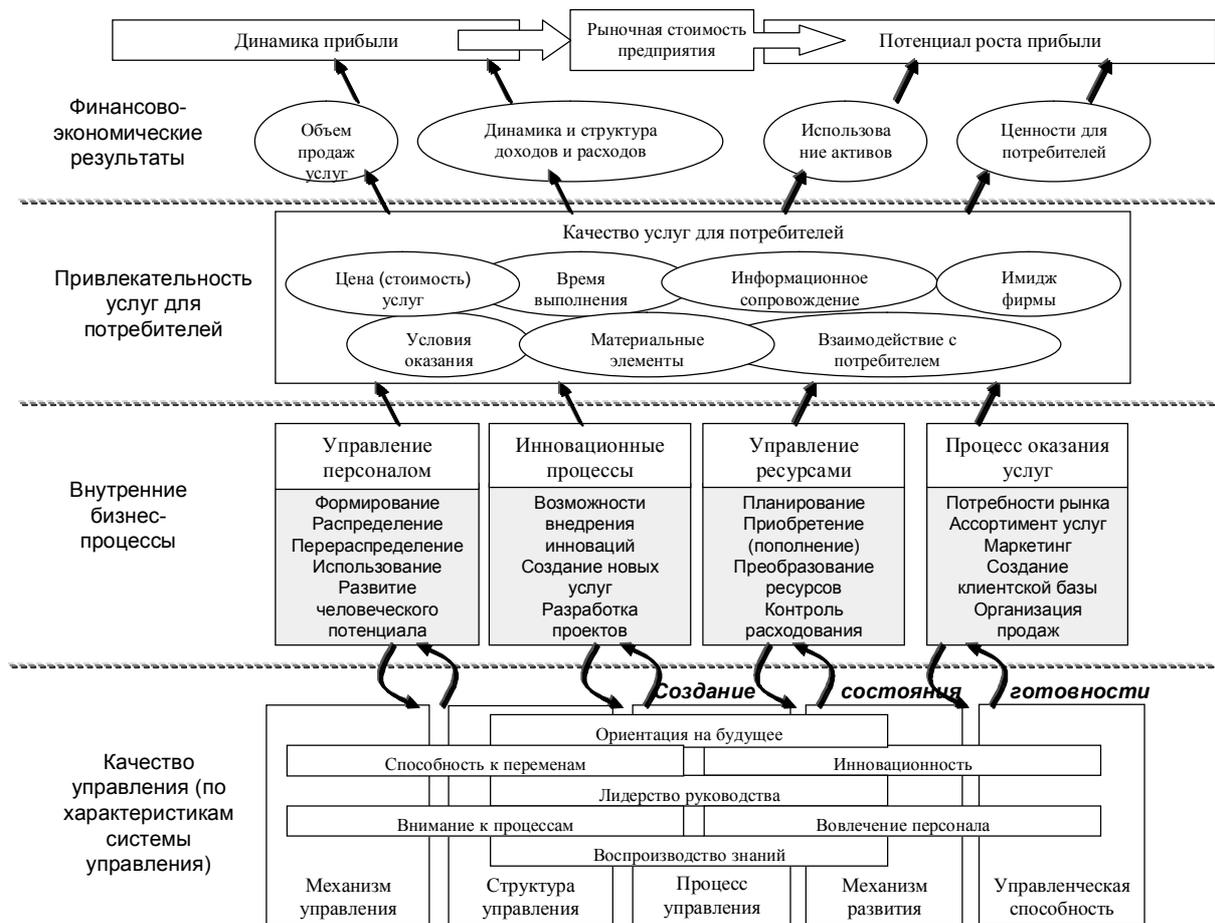


Рис. 1. Модель причинно-следственных связей, отражающая влияние управленческого воздействия на бизнес-процессы обеспечения привлекательности услуг предприятия

$$КУр_i = \frac{\text{Эр}_i}{7};$$

где Эр – общее количество баллов, которое набрал конкретный элемент системы управления при оценке способности менеджмента обеспечивать нужный результат.

2. В целом для системы управления:

$$\overline{КУр} = \frac{\sum_{i=1}^n КУр_i}{n}.$$

Коэффициенты представляют, насколько действие элементов управления как системы приводит к получению результата – по составляющим услуги.

Коэффициент качества управления, который формирует общую оценку по элементам и в целом для системы управления:

1. По элементам системы управления:

$$ККУ_i = \frac{КУс_i + КУр_i}{2}.$$

2. В целом для системы управления:

$$ККУ = \frac{\overline{КУс} + \overline{КУр}}{2}.$$

Изменение структуры и динамики коэффициента качества управления свидетельствует о положительных (при увеличении до 1) либо отрицательных колебаниях во внутренних процессах деятельности предприятия.

Таким образом, представленная методика интегрирует в себе существующие способы диагностики, отражает пос-

ледовательность исследования, взаимосвязь этапов, значение каждого из них. Это позволяет осуществлять мониторинг деятельности, оценку отдельных процессов и проектов, выявить проблемы в управлении, приводящие к изменению качества услуг и экономических результатов работы предприятия. В результате формируется информация, имеющая высокую значимость для разработки и контроля исполнения проектов и стратегии развития фирмы на рынке услуг, измерения целей по совершенствованию управления. Можно заключить, что данный вариант методики может войти в состав основных аналитических инструментов предприятия [4], используемых при выборе и проектировании управленческих технологий. Представленные оценочные показатели могут быть использованы при выявлении потребностей стратегических изменений в управлении предприятием сферы услуг, а также для внутреннего аудита менеджмента, включая функциональные области.

Применение в деятельности и управлении предприятиями сферы услуг представленных методических положений в области качества управления, функционирование и развитие системы управления в соответствии с принципами и характеристиками качества формируют управленческое воздействие таким образом, что оказывается влияние на повышение качества услуг и улучшение финансово-экономических результатов деятельности предприятия на рынке.

Применение в комплексной оценке деятельности предприятия сферы услуг показателей оценки качества управления дает возможность повысить точность и эффек-

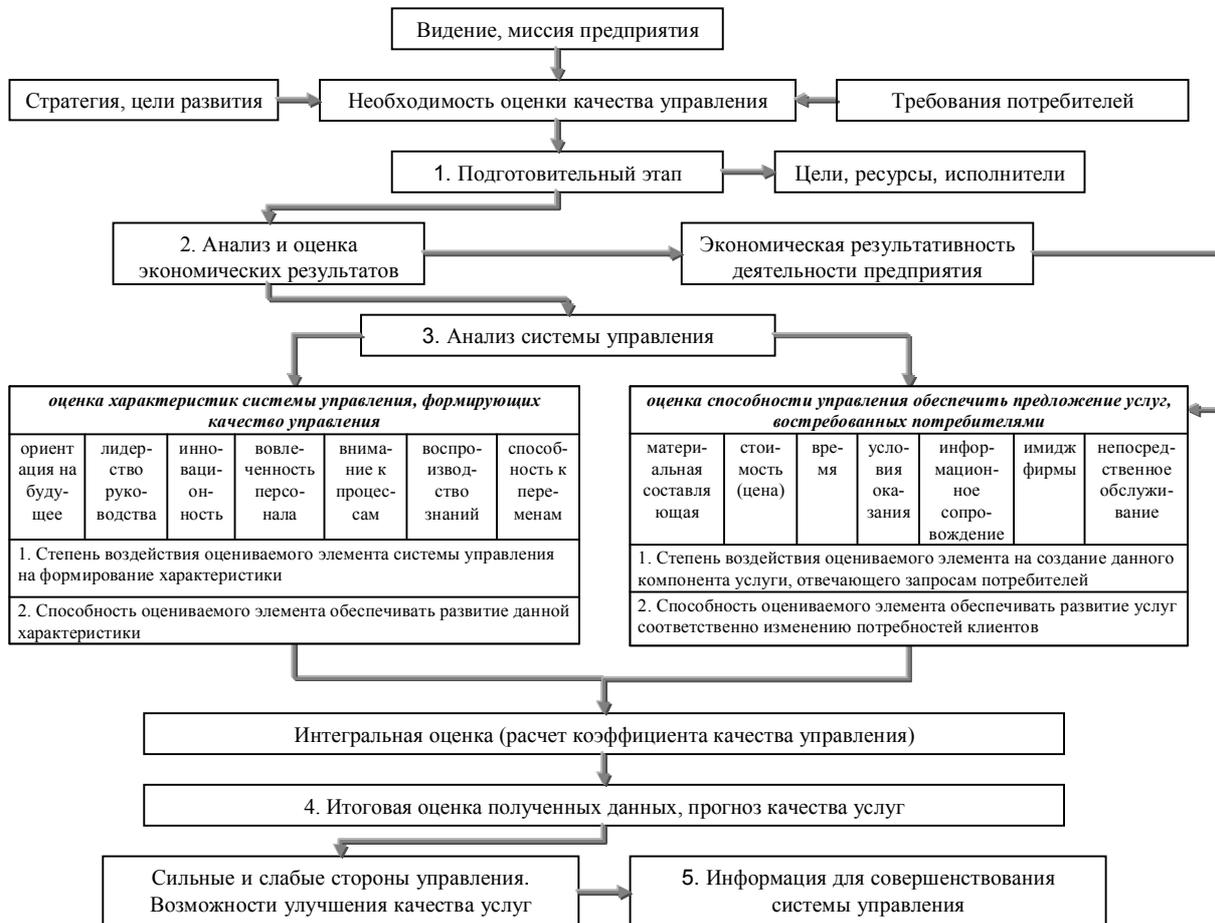


Рис. 2. Этапы методики оценки качества управления предприятием сферы услуг

тивность целеполагания, стратегического планирования и контроля в области совершенствования системы менеджмента.

Библиографический список

1. Коротков, Э. М. Генезис менеджмента / Э. М. Коротков, Е. Кузьмина // Проблемы теории и практики управления. 2006. № 1. С. 40–47.

2. Peters, T. J. Re-imagine! Business Excellence in a Disruptive Age / T. J. Peters. New York : DK ADULT, 2003.

3. Norton, D. P. Balanced Scorecard [Электронный ресурс] / D. P. Norton, R. S. Kaplan. Режим доступа: <http://www.bscoll.com>. Загл. с экрана.

4. Панфилова, Е. Е. Современные подходы к оценке качества и эффективности корпоративного управления / Е. Е. Панфилова // Менеджмент сегодня. 2006. № 1. С. 38–48.

T. A. Klimenkova

PRINCIPLES AND METHODS OF CONSTRUCTION AND FUNCTIONING OF SERVICE ENTERPRISE'S MANAGEMENT SYSTEM IN MARKET CONDOTOINS

It is covered principles of construction and functioning of management system by the enterprise of service sphere in conditions of the market. The model of relationships between causes and effects, reflecting influence the administrative actions on business-processes, that maintenances the appeal of firm's services is presented. The technique of estimation of quality of management system by the service firm is resulted.

Keywords: management system, services, quality, principles.

© Клименкова Т. А., 2009

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Авакумов Роман Владимирович – студент института космических исследований и высоких технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – механика твердого деформируемого тела. E-mail: ravaikumov@yandex.ru.

Алгазин Евгений Игоревич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры общей электротехники Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский государственный технический университет в 1984 г. Область научных интересов – инвариантные системы передачи информации. E-mail: nat_gus@ngs.ru.

Александрова Галина Алексеевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – электронная спектроскопия поверхности твердых тел, физика поверхности, сканирующая зондовая микроскопия. E-mail: agalex-2002@yandex.ru.

Аникина Юлия Анатольевна – старший преподаватель кафедры организации и управления наукоёмкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – совершенствование механизмов управления и регулирования социально-экономического развития городской агломерации. E-mail: anikinay@inbox.ru.

Антамошкин Олеслав Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – системный анализ и управление. E-mail: oleslav@mail.ru.

Бадрызлов Владимир Александрович – старший преподаватель кафедры маркетинга и предпринимательства Омского государственного технического университета. Окончил Омский политехнический институт в 1988 г. Область научных интересов – количественные методы в стратегическом планировании и маркетинге. E-mail: v_bad@mail.ru.

Безбородов Юрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Московское общевойсковое командное училище в 1977 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: labism@mail.ru.

Беляков Сергей Андреевич – ассистент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – биотехнология, биоэнергетика. E-mail: 24au@rambler.ru.

Белякова Галина Яковлевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности в 1969 г. Область научных интересов – региональная экономика. Тел. (391)264-05-14.

Березицкая Елена Петровна – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – сканирующая зондовая микроскопия. E-mail: berezitskaya_86@mail.ru.

Богданов Константин Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – системы автоматизированного проектирования, системы электропитания космических аппаратов. E-mail: bogdanov@pinedesign.ru.

Вейсов Евгений Алексеевич – кандидат технических наук, профессор, проректор по информатизации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. В. Решетнева. Окончил Казанский авиационный институт в 1970 г. Область научных интересов – вычислительные процессы, распределенные вычислительные системы. E-mail: veisov@sibsau.ru.

Вайтузин Олег Петрович – старший преподаватель кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 1996 г. Область научных интересов – оптическая микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия. E-mail: ktf@sibsau.ru.

Варнаков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – низкоразмерные структуры, вакуумная техника, электронная спектроскопия. E-mail: vsn@iph.krasn.ru.

Владимиров Валерий Михайлович – кандидат физико-математических наук, профессор, заместитель председателя президиума Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Томский институт радиотехники и электроники в 1965 г. Область научных интересов – разработка средств связи для космических навигационных систем, техника сверхвысоких частот, физика полупроводников. E-mail: vlad@rsc.krasn.ru.

Владыко Анна Константиновна – ассистент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный университет в 2002 г. Область научных интересов –

внешнеэкономическая деятельность, международная торговля. E-mail: anion2000@mail.ru.

Ворожейкин Антон Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследований операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – оптимизация, математические модели интеллектуальных систем. E-mail: voranton@yandex.ru.

Галушин Павел Викторович – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – эволюционные методы решения сложных задач оптимизации. E-mail: galushin_pavel@mail.ru.

Гарин Евгений Николаевич – кандидат технических наук, доцент, начальник учебного военного центра Сибирского федерального университета. Окончил Харьковскую военно-инженерную радиотехническую академию противовоздушной обороны имени Маршала Советского Союза Л. А. Говорова в 1992 г. Область научных интересов – радионавигация, радиолокация, низкотемпературная плазма. E-mail: EGarin@sfsu-kras.ru.

Гомонова Ольга Валерьевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева в 2004 г. Область научных интересов – теория пластичности, дифференциальные уравнения. E-mail: gomonova@sibsau.ru.

Гончар Татьяна Николаевна – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский федеральный университет в 2004 г. E-mail: tanygon@yandex.ru.

Горбунов Михаил Александрович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 2008 г. Область научных интересов – управление инвестициями, финансовый анализ. E-mail: michaelgorbunov@mail.ru.

Городилов Александр Андреевич – аспирант политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – программирование, системный анализ, математическое моделирование. E-mail: aagorodilov@gambler.ru.

Горяшин Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – силовая электроника, преобразовательная техника, управление в нелинейных системах. E-mail: gorkoya@mail.ru.

Гостева Ольга Владимировна – старший преподаватель кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1987 г. Область научных интересов – проектный менеджмент. E-mail: Iuna77@mail.ru.

Гринин Эдуард Федорович – ведущий инженер ООО «НПФ Электрон». Окончил Красноярский политехнический институт в 1966 г. Область научных интересов – радиотехника. Тел. (391)249-44-94.

Грошева Надежда Борисовна – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой финансового менеджмента Байкальской международной бизнес-школы Иркутского государственного университета. Окончила Иркутскую государственную экономическую академию в 1998 г. Область научных интересов – инвестиционные проекты – оценка, управление. E-mail: nadusha_i@mail.ru.

Денисова Неля Ивановна – доцент кафедры управления, экономики здравоохранения и фармации Красноярского государственного медицинского университета. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2000 г. Область научных интересов – экономика здравоохранения.

Дрофа Владимир Валентинович – кандидат экономических наук, заместитель генерального директора – директор по экономике и финансам ОАО «Омское моторостроительное конструкторское бюро». Окончил Сибирский автомобильно-дорожный институт в 1981 г. Область научных интересов – управление промышленным предприятием, система менеджмента качества. E-mail: omkb@motor.omsk.ru.

Еремينا Вера Александровна – аспирант кафедры экономической теории и управления Красноярского государственного педагогического университета имени В. П. Астафьева. Окончила Красноярский государственный технологический университет в 2000 г. Область научных интересов – исследование налоговых отношений, работа с налоговым законодательством, изучение налоговых споров, практика налогообложения. E-mail: esv007@yandex.ru.

Ермошкин Юрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории проектирования и испытаний систем коррекции ОАО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Московский авиационный институт в 1977 г. Область научных интересов – применение двигательных подсистем на космических аппаратах. E-mail: erm@iss-reshetnev.ru.

Желиховская Вера Викторовна – начальник отдела регионального развития края министерства экономики и регионального развития Красноярского края. Окончила Красноярский государственный университет в 1987 г. Область научных интересов – региональная экономика, стратегическое планирование и управление, системный анализ, экономико-математическое моделирование. E-mail: v_zhelihovskaya@mail.ru.

Замай Сергей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, главный специалист отдела связи и информационных технологий министерства транспорта и связи Красноярского края. Окончил Красноярский государственный университет в 1987 г. Область научных интересов – информационные технологии.

ственный университет в 1977 г. Область научных интересов – системный анализ, математическое моделирование, распределенные информационные системы, геоэкология и природопользование. E-mail: zamay@ats.krsnkr.ru.

Зеленская Татьяна Васильевна – доктор экономических наук, профессор, заместитель главы города Красноярска – начальник департамента экономики администрации города Красноярска. Окончила Омский институт легкой промышленности в 1980 г. Область научных интересов – инвестиционная деятельность.

Кадочников Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2003 г. Область научных интересов – геоинформационные интернет-системы и сервисы. E-mail: scorant@torins.ru.

Карасева Маргарита Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический институт в 1990 г. и Сибирскую аэрокосмическую академию в 1999 г. Область научных интересов – мультилингвистическая технология обучения иностранным языкам, разработка частотных терминологических словарей. Тел. 8-902-992-64-12.

Клешков Владимир Михайлович – кандидат технических наук, директор химзавода – филиала ФГУП «Красмашзавод». Окончил Казанский авиационный институт в 1972 г. Область научных интересов – управление организационными системами, системы поддержки принятия решений, информационные системы. Тел. (391-97)9-71-25.

Клименкова Татьяна Александровна – ведущий специалист факультета экономики и управления, старший преподаватель кафедры экономики и планирования Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2005 г. Область научных интересов – управление в социальных и экономических системах. E-mail: feu@kgtei.ru.

Ковалевский Артем Павлович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский государственный технический университет в 1992 г. Область научных интересов – прикладная теория вероятности. E-mail: randotga@ngs.ru.

Коновалов Владимир Евгеньевич – старший преподаватель кафедры деталей машин Омского государственного технического университета. Окончил Омский политехнический институт в 1980 г. Область научных интересов – виброзащитные устройства. E-mail: apple_27@mail.ru.

Краев Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор, академик Российской академии естественных наук и Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского, член-корреспондент Академии наук высшей школы, заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – фи-

лиал Красноярского государственного политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – гидродинамика систем подачи энергодвигательных установок.

Краева Екатерина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – насосные агрегаты подачи малорасходных систем ракетополетов.

Кузоватова Ольга Игоревна – ассистент кафедры высшей математики института фундаментальной подготовки Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 2004 г. Область научных интересов – математическое моделирование, численные методы. E-mail: oik17@yandex.ru.

Куценков Станислав Александрович – аспирант кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – электронная спектроскопия поверхности твердых тел, физика поверхности. E-mail: stskush@gmail.ru.

Левко Валерий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 1988 г. Область научных интересов – повышение качества поверхностного слоя деталей летательных аппаратов. Тел. (391)266-71-61.

Ленченко Виктор Макарович – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор Сибирского федерального университета. Окончил Среднеазиатский государственный университет в 1951 г. Область научных интересов – физика полупроводников, структура твердых тел. Тел. (391)221-29-16.

Литовченко Василина Ивановна – кандидат филологических наук, доцент, заведующий кафедрой делового иностранного языка Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический университет в 1997 г. Область научных интересов – иностранный язык для неязыковых специальностей. E-mail: litovchenkovi@yandex.ru.

Личаргин Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры разговорного иностранного языка института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный педагогический университет в 1998 г. Область научных интересов – искусственный интеллект, инженерная лингвистика, математическая семантика, теория формальных грамматик. E-mail: lichdv@hotmail.ru.

Ловчиков Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и вычислительной техники Сибирского государствен-

ного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1970 г. Область научных интересов – системы автоматизированного проектирования, системы электропитания космических аппаратов. E-mail: ivt_anlovch@sibsau.ru.

Логинов Юрий Юрьевич – доктор физико-математических наук, профессор, проректор по научно-инновационной деятельности Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1976 г. E-mail: loginov@sibsau.ru.

Лопатин Александр Витальевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1979 г. Область научных интересов – механика твердого деформируемого тела. Тел. (391)91-91-57.

Лубнин Михаил Алексеевич – кандидат технических наук, профессор кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1966 г. Область научных интересов – повышение качества поверхностного слоя деталей летательных аппаратов. Тел. (391)291-91-65.

Лукьяненко Михаил Васильевич – кандидат технических наук, профессор, советник Российской инженерной академии, почетный работник высшего профессионального образования, награжден медалями имени Н. А. Пилюгина и М. Ф. Решетнева Федерации космонавтики России, заведующий кафедрой систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – космическая энергетика. E-mail: lukyanenko40@yandex.ru.

Малинкин Виталий Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры многоканальной электрической связи и оптических систем Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1975 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация. E-mail: mvb@neic.nsk.su.

Мальцев Константин Вадимович – математик, системный программист ООО «Геопром». Окончил Красноярский государственный университет в 2005 г. Область научных интересов – геоинформатика, математическое моделирование, информационные системы. E-mail: mkv@icm.krasn.ru.

Медведев Алексей Викторович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1984 г. Область научных интересов: экономико-математическое моделирование, инвестиционный анализ, динамическая оптимизация. E-mail: alexm_62@mail.ru.

Можжерин Александр Викторович – аспирант Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – физика полупроводников, структурные дефекты в кристаллах. Тел. (391)262-95-94.

Надейкин Иван Викторович – аспирант кафедры топливного обеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – органическая химия топлив. E-mail: ivan_777_kray@mail.ru.

Непомнящий Олег Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией микропроцессорных систем Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1992 г. Область научных интересов – микропроцессорные системы, моделирование вычислительных систем. E-mail: olegn_68@mail.ru.

Новиков Антон Евгеньевич – студент четвертого курса кафедры прикладной математики Сибирского федерального университета. Область научных интересов – математическое моделирование. E-mail: jibuti88@mail.ru.

Новиков Евгений Александрович – доктор физико-математических наук, профессор Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Воронежский государственный университет в 1978 г. Область научных интересов – вычислительная математика, математическое моделирование. E-mail: novikov@icm.krasn.ru.

Овчинников Сергей Геннадьевич – заместитель директора Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, профессор кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1972 г. Область научных интересов – рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия 3d-металлооксидов, теория высокотемпературной сверхпроводимости. E-mail: sgo@iph.krasn.ru.

Округин Дмитрий Геннадьевич – аспирант кафедры экономики и менеджмента института градостроительства, управления и региональной экономики Сибирского федерального университета. Окончил Государственный университет цветных металлов и золота в 2005 г. Область научных интересов – экономические механизмы управления риском чрезвычайных ситуаций. E-mail: dmitrii_okrugin@mail.ru.

Орлов Сергей Александрович – ведущий инженер отдела прочности ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1976 г. Область научных интересов – анализ и нормирование механического нагружения оборудования космических аппаратов. Тел. (391-97)6-41-15.

Орловская Нина Федоровна – кандидат химических наук, профессор кафедры топливного обеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1974 г. Область научных интересов – органическая химия топлив. E-mail: togsming@mail.ru.

Панфилов Илья Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – многопроцессорные и параллельные вычисления, системы искусственного интеллекта. E-mail: crook_80@mail.ru.

Паршин Анатолий Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1969 г. Область научных интересов – электронная спектроскопия поверхности твердых тел, физика поверхности. E-mail: aparshin@sibsau.ru.

Пацук Ольга Викторовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский технологический институт в 1993 г. Область научных интересов – региональная экономика, управление территориями. E-mail: pasuk@sibsau.ru.

Победаш Павел Николаевич – кандидат физико-математических наук, докторант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1991 г. Область научных интересов – математическая экономика, теория оптимизации. E-mail: pobed_pnp@mail.ru.

Попов Владимир Георгиевич – инженер Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2006 г. Область научных интересов – геоинформационные интернет-системы и сервисы. E-mail: vladimir@torins.ru.

Проскурин Виктор Владимирович – кандидат экономических наук, доцент кафедры маркетинга и предпринимательства Омского государственного технического университета. Окончил Всесоюзный заочный финансово-экономический институт в 1981 г. Область научных интересов – анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия, формирование и распределение прибыли организации. Тел. (3812)65-31-72.

Прохоров Виктор Владимирович – доцент кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский институт цветных металлов в 1983 г., Красноярский государственный университет в 1993 и 1999 гг. Область научных интересов – реальные и финансовые инвестиции. E-mail: kfnaufor@pop3.kts.ru.

Пшенко Елена Борисовна – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 1990 г. Область научных интересов –

повышение качества поверхностного слоя деталей летательных аппаратов. Тел. (391)291-90-37.

Пшенко Степан Игоревич – аспирант кафедры холодильной, криогенной техники и кондиционирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – повышение качества поверхностного слоя деталей летательных аппаратов. Тел. (391)264-70-71.

Раевский Валентин Анатольевич – доктор технических наук, главный специалист по системам управления ориентацией космических аппаратов ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева, лауреат премии правительства РФ, заведующий филиалом кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Днепропетровский государственный университет в 1958 г. Тел. (391-97)6-45-90.

Садовский Владимир Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Новосибирский государственный университет в 1979 г. Область научных интересов – математическое моделирование. E-mail: sadov@icm.krasn.ru.

Сафонов Константин Владимирович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой прикладной математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – многомерный комплексный анализ и его приложения, фундаментальная информатика. E-mail: safonovkv@rambler.ru.

Семенкин Евгений Станиславович – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, интеллектуальный анализ данных, эволюционные алгоритмы. E-mail: saor_semenkin@sibsau.ru.

Семенкина Ольга Эрнестовна – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, стохастические алгоритмы оптимизации, управление в организационно-технических системах. E-mail: saor_semenkin@sibsau.ru.

Сенашов Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1975 г. Область научных интересов – механика твердого тела, математическое моделирование в экономике. E-mail: sen@sibsau.ru.

Сергий Михаил Емельянович – инженер СКТБ «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский политехнический институт в 1985 г. Область научных интересов – автоматизация научных исследований. E-mail: sergii@ksc.krasn.ru.

Снетков Павел Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет в 1999 г. Область научных интересов – повышение качества поверхностного слоя деталей летательных аппаратов. Тел. (391)297-68-51.

Соломатова Анна Александровна – ассистент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – автономная энергетика, преобразовательная техника. E-mail: anet_smilk@mail.ru.

Сольская Ирина Юрьевна – доктор экономических наук, профессор, проректор Иркутского государственного университета путей сообщения. Окончила Иркутский политехнический институт в 1976 г. Область научных интересов – инвестиционные проекты – оценка, управление. E-mail: irina_solskaya@mail.ru.

Сопов Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – интеллектуальные технологии, системный анализ, извлечение знаний. E-mail: es_gt@mail.ru.

Сопов Сергей Александрович – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – многокритериальный поиск, эволюционные алгоритмы. E-mail: sopov_sergey@mail.ru.

Сурнина Евгения Валерьевна – ассистент кафедры информационно-экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – моделирование стоимости недвижимости. E-mail: evsurnina@gmail.com.

Токарев Алексей Владимирович – кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 2003 г. Область научных интересов – геоинформационные интернет-системы и сервисы. E-mail: tav@torins.ru.

Турилов Дмитрий Михайлович – аспирант кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика

М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – повышение качества поверхностного слоя деталей летательных аппаратов. Тел. (391)291-91-34.

Урусов Владимир Михайлович – инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – проектирование систем коррекции космических аппаратов. Тел. (391-97)6-48-24.

Усанов Алексей Юрьевич – начальник лаборатории ОКБ «Факел». Окончил Калининградский государственный университет в 1991 г. Область научных интересов – расчет на прочность и механические испытания элементов двигательных подсистем космических аппаратов. Тел. (4012)46-16-16.

Фалалеев Альберт Николаевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической теории и управления Красноярского государственного педагогического университета имени В. П. Астафьева. Окончил Красноярский государственный педагогический институт в 1953 г. Область научных интересов – экономические проблемы образования и социально-экономические проблемы инновационного развития предприятий. Тел. 8-950-970-65-17.

Филько Сергей Владимирович – старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный аграрный университет в 1998 г. Область научных интересов – бюджетирование, контроллинг, управленческий учет. E-mail: sergfilko@mail.ru.

Хамитов Рустам Нуриманович – кандидат технических наук, доцент кафедры авиа- и ракетостроения Омского государственного технического университета. Окончил Омский политехнический институт в 1984 г. Область научных интересов – виброзащитные устройства с управляемыми амортизаторами. E-mail: apple_27@mail.ru.

Хартов Станислав Викторович – кандидат технических наук, научный сотрудник Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Московский институт электронной техники в 2005 г. Область научных интересов – нанотехнологии, процессы самоорганизации, мембранные процессы. E-mail: stas@list.ru.

Ходенков Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – физика поверхности, электродинамика многомерных фотонных кристаллов. E-mail: sibsau_crhti@mail.ru.

Хорошко Александр Юрьевич – инженер кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика

М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – преобразовательная техника. E-mail: of_silence@mail.ru.

Шайдуров Владимир Викторович – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, директор Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Новосибирский государственный университет в 1972 г. Область научных интересов – нанотехнологии, вычислительное моделирование.

Шалахина Джамиля Халиловна – главный инженер ФГУП «Российский государственный научно-исследовательский и проектный институт урбанистики». Окончила Ленинградский государственный университет в 1986 г. Область научных интересов – архитектура, градостроительство, территориальное планирование, экология. E-mail: shald1@yandex.ru.

Шепов Владимир Николаевич – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский политехнический институт в 1989 г. Область научных интересов – техника сверхвысоких частот и ее применение для исследования физических свойств материалов. E-mail: shepov@ksc.krasn.ru.

Шупранов Дмитрий Александрович – аспирант кафедры топливного обеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – органическая химия топлив. E-mail: dimassiol@mail.ru.

Энгель Екатерина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и систем Хакасского государственного университета имени Н. Ф. Катанова. Окончила Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова. Область научных интересов – нейроинформатика, нечеткая логика. E-mail: angel@khsu.ru.

Юферова Надежда Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры управления качеством и математическими методами экономики Сибирского государственного технологического университета. Окончила Сибирский государственный технологический университет в 1998 г. Область научных интересов – математическое моделирование в экономике. E-mail: NadinYu@yandex.ru.

Якищик Ольга Леонидовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры организации производства Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный аграрный университет в 2002 г. Область научных интересов – управление интеллектуальным капиталом, менеджмент знаний, управление интеллектуальными работниками. E-mail: olga220@list.ru.

Якубайлик Олег Эдуардович – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Московский физико-технический институт в 1987 г. Область научных интересов – геоинформационные интернет-системы и сервисы. E-mail: oleg@icm.krasn.ru.

Яричина Галина Федоровна – кандидат экономических наук, доцент, профессор кафедры экономики и менеджмента института градостроительства, управления и региональной экономики Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский металлургический институт в 1972 г. Область научных интересов – интеллектуальная собственность, финансы, оптимизационные задачи. E-mail: sanya080407@yandex.ru.

Яхно Лилия Владимировна – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный университет в 1991 г. Область научных интересов – симметрии, законы сохранения и точные решения управлений теории пластичности. E-mail: alexander.yakhno@cucei.ung.mx.

СОДЕРЖАНИЕ

Беляков Г. П. Приоритетные научно-технические направления развития космического исследовательского университета	3
Назаров В. П. Сибирская инновационная интегрированная система аэрокосмического образования	7
РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА	13
Шайдуров В. В., Вейсов Е. А., Непомнящий О. В. Проблемы и решения проектирования микропроцессорных модулей навигационной аппаратуры пользователей ГЛОНАСС	14
Гомонова О. В., Сенашов С. И. Новые точные решения, описывающие двумерное поле скоростей для решения Прандтля	18
Кузоватова О. И., Садовский В. М. Численное исследование задачи о продавливании связанной сыпучей среды	21
Сенашов С. И., Яхно А. Решение задачи Коши для гиперболической системы однородных двумерных квазилинейных уравнений	26
Лопатин А. В., Авакумов Р. В. Устойчивость ортотропной пластины с двумя свободными краями, нагруженной изгибающим моментом в плоскости	28
Сафонов К. В., Личаргин Д. В. Разработка векторизованной семантической классификации над словами и понятиями естественного языка	33
Галушин П. В., Семенкин Е. С. Асимптотический вероятностный генетический алгоритм	37
Владимиров В. М., Гринин Э. Ф., Сергей М. Е., Шепов В. Н. Автоматизированный измеритель удельного электросопротивления монокристаллического кремния четырехзондовым методом	42
Новиков А. Е., Новиков Е. А. Численное моделирование цикла цезия в верхней атмосфере <i>L</i> -устойчивым методом второго порядка точности	45
Хартов С. В. Активный метаматериал на основе интегральных НЭМС-структур	49
Горяшин Н. Н., Лукьяненко М. В., Соломатова А. А., Хорошко А. Ю. Моделирование режимов параллельной работы квазирезонансных преобразователей напряжения с коммутацией ключевых элементов при нулевых значениях тока	53
Богданов К. В., Ловчиков А. Н. Построение EDA-системы на основе синхронизированных параллельных процессов	58
Якубайлик О. Э., Кадочников А. А., Попов В. Г., Токарев А. В. Модель геоинформационной аналитической интернет-системы для анализа состояния и презентации региона	61
Карасева М. В. Адаптивная модель пользователя в мультилингвистических информационно-управляющих системах	66
Антамошкин О. А. Система поддержки принятия решений на основе многоатрибутивных методов	69
Горбунов М. А., Медведев А. В., Победаш П. Н., Семенкин Е. С. Моделирование стратегии мирового социально-экономического развития как задачи оптимального управления	71
Горбунов М. А. Методы моделирования и факторы эффективности инвестиционных проектов	75
Ворожейкин А. Ю., Гончар Т. Н., Панфилов И. А., Сопов Е. А., Сопов С. А. Об одной модификации вероятностного генетического алгоритма для решения сложных задач условной оптимизации	79
Энгель Е. А. Обработка графической информации интеллектуальными алгоритмами	85
Городилов А. А. Математическая модель динамических структур данных автоматизированной информационной системы	90
Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Передача сигналов инвариантным методом с последующей нелинейной обработкой при наличии слабой корреляции	96
РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА	99
Ермошкин Ю. М., Раевский В. А., Урусов В. М. Проведение ориентации и коррекции орбиты геостационарного космического аппарата: схема с неподвижным закреплением двигателей коррекции	100
Гарин Е. Н. Определение относительных координат на основе ретрансляции навигационных сигналов систем ГЛОНАСС и GPS	105
Краев М. В., Краева Е. М. Совершенствование энергетических параметров центробежных насосов с полукрытым рабочим колесом	107

Краева Е. М. К расчету момента сопротивления в каналах малорасходных центробежных насосов	110
Ермошкин Ю. М., Орлов С. А., Усанов А. Ю. Формирование режимов механических испытаний сильфонных баков	113
РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ	119
Логинов Ю. Ю., Ленченко В. М., Мозжерин А. В. Влияние режимов роста монокристаллов на перенос и накопление примесных атомов в растущем кристалле	120
Александрова Г. А., Вайгузин О. П., Березицкая Е. П., Паршин А. С., Варнаков С. Н., Овчинников С. Г. Изучение механизмов формирования структур железа на поверхности кремния при различных технологических условиях методом атомно-силовой микроскопии	125
Кушеников С. А., Паршин А. С., Александрова Г. А., Ходенков С. А. Компьютерное моделирование сечения неупругого рассеяния электронов в трехслойных структурах типа «пленка–интерфейс–подложка»	129
Снетков П. А., Левко В. А., Пшенко Е. Б., Лубнин М. А. Экспериментальное определение коэффициентов вязкости, упругости и пластичности рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке	134
Левко В. А., Лубнин М. А., Снетков П. А., Пшенко Е. Б., Турилов Д. М. Исследование влияния формы обрабатываемого канала на течение рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке	138
Хамитов Р. Н., Коновалов В. Е. Угловые колебания амортизируемого объекта с активной системой демпфирования	146
Орловская Н. Ф., Шупранов Д. А., Безбородов Ю. Н., Надежкин И. В. Изучение процессов жидкофазного окисления реактивных топлив на моделях	150
РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА	155
Зеленская Т. В., Прохоров В. В. Совершенствование способов финансирования инновационной деятельности предприятий оборонно-промышленного комплекса в форме облигационного займа	156
Гостева О. В. Интегральная оценка исполнения проектов на предприятиях ракетно-космической отрасли	159
Округин Д. Г., Яричина Г. Ф. Экономические методы управления пожарными рисками административных территориальных образований (с применением авиационного и космического мониторинга)	163
Аникина Ю. А., Литовченко В. И. Методика оценки дифференциации при регулировании социально-экономического развития городской агломерации	169
Белякова Г. Я., Владыко А. К. Анализ основных направлений внешнеторгового сотрудничества Красноярского края с Китаем	172
Бадрызов В. А., Дрофа В. В., Проскурин В. В. Методы прогнозирования рыночной доли в стратегическом планировании	176
Замай С. С. Интенсивные методы решения проблемных задач регионального развития	180
Замай С. С., Желиховская В. В., Шалахина Д. Х. Схемы территориального планирования Красноярского края и перспективы их использования в качестве инструмента комплексного планирования	186
Фалалеев А. Н., Еремина В. А. К вопросу совершенствования инструментов государственной антикризисной политики в России	191
Денисова Н. И. Тенденции и особенности предложения на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования Красноярского края	196
Якищук О. Л., Семенкина О. Э., Клешков В. М. Методы оценки эффективности использования человеческого капитала организации	202
Грошева Н. Б. Определение участников инвестиционного проекта	205
Грошева Н. Б., Сольская И. Ю. Определение границ инвестиционного проекта	207
Филько С. В. Особенности декомпозиции производственных затрат при проведении судоремонтных работ	210
Беляков С. А. Механизм стимулирования развития биотехнологий в зарубежных странах	214
Сенашов С. И., Юферова Н. Ю., Сурнина Е. В. Информационная система оценки стоимости квартир на вторичном рынке жилья как инструмент управления инвестициями	219
Клименкова Т. А. Принципы и методы построения и функционирования системы управления предприятием сферы услуг в условиях рынка	223
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	228

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS	13
Shaidurov V. V., Veisov E. A., Nepomnyashy O. V. Problems and decisions of designing of microprocessor modules of navigating equipment of users GLONASS	14
Gomonova O. V., Senashov S. I. New exact solutions which describe 2-dimensional velocity field for Prandtl's solution	18
Kuzovatova O. I., Sadovskii V. M. Numerical analysis of the process of punching shear of a soil	21
Senashov S. I., Yakhno A. Cauchy problem solution for a hyperbolic system of the homogeneous 2-dimensional quasilinear equations	26
Lopatn A. V., Avakumov R. V. Buckling of orthotropic plates with two free edges loaded with pure in-plane bending moment	28
Safonov K. V., Lichargin D. V. Elaboration of a vector based semantic classification over the words and notions of the natural language	33
Galushin P. V., Semenkin E. S. Asymptotic probabilistic genetic algorithm	37
Vladimirov V. M., Grinin E. F., Sergiy M. E., Shepov V. N. Automatic device for measuring resistivity of silicon four-point probe method	42
Novikov A. E., Novikov E. A. Numerical simulation of the cesium cycle in the upper atmosphere by means of <i>L</i> -stable method of the second order of accuracy	45
Khartov S. V. Active metamaterial based on integral NEMS structures	49
Goryashin N. N., Lukyanenko M. V., Solomatova A. A., Khoroshko A. Y. Modeling of parallel operation of zero-current switching quasi-resonant converters	53
Bogdanov K. V., Lovchikov A. N. Creating EDA systems based on synchronous parallel computing	58
Yakubailik O. E., Kadochnikov A. A., Popov V. G., Tokarev A. V. the model of regional geoinformation analytical internet system for the analysis of the territory conditions and presentation	61
Karaseva M. V. A user adaptive model in the multilingual information and control systems	66
Antamoshkin O. A. Decision support system on the basis of multiattributive methods	69
Gorbunov M. A., Medvedev A. V., Pobedash P. N., Semenkin E. S. The modelling of the world socio-economic strategy as an optimal control problem	71
Gorbunov M. A. The methods of modelling and investment projects efficiency factors	75
Vorozheikin A. Yu., Gonchar T. N., Panfilov I. A., Sopov E. A., Sopov S. A. A modified probabilistic genetic algorithm for complex constrained optimization problems	79
Engel E. A. Graphic information processing using intelligent algorithms	85
Gorodilov A. A. Mathematical model of dynamic structures of the data of the automated information system	90
Algazin E. I., Kovalevsky A. P., Malinkin V. B. Transmission of signals by invariant method with further non-linear processing by weak correlation	96
 PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING	 99
Yermoshkin Yu. M., Raevsky V. A., Urusov V. M. Geostationary spacecraft attitude and orbit control by motionless orbit control thrusters	100
Garin E. N. The determination of relative coordinates based on the retransmission of navigation signals of the GLONASS and GPS systems	105
Kraev M. V., Kraeva E. M. Power parameters' improvements for centrifugal pumps with a semi open-type impeller	107
Kraeva E. M. On calculation of moment of resistance in canals of low-rate centrifugal pumps	110
Yermoshkin Yu. M., Orlov S. A., Usanov A. Yu. Creation of the fuel silphon tanks mechanical test modes	113
 PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS	 119
Loginov Yu. Yu., Lenchenko V. M., Mozherin A. V. The influence of monocrystals growth conditions on carrying over and accumulation of impurity atoms in a growing crystal	120
Alexandrova G. A., Vaituzin O. P., Berezitskaya E. P., Parshin A. S., Varnakov S. N., Ovchinnikov S. G. A study on the iron structure formation on silicon surfaces for different technological conditions by means of atomic force microscopy	125

Kuschenkov S. A., Parshin A. S., Alexandrova G. A., Hodenkov S. A. Computer modeling of inelastic-scattering cross sections of electrons in three layered structures types: «film–interface–subtract»	129
Snetkov P. A., Levko V. A., Pshenko E. B., Lubnin M. A. Experimental determination factor of viscosity, elasticity, and plasticity media for abrasive flow machining processing	134
Levko V. A., Lubnin M. A., Snetkov P. A., Pshenko E. B., Turilov D. M. Research on the influence of the canal finishing shape on the flow in media for abrasive flow machining processes	138
Khamitov R. N., Konovalov V. E. Angular fluctuations of the damped object with active damping system	146
Orlovskaya N. E., Shupranov D. A., Bezborodov Yu. N., Nadeykin I. V. Model-based study of oxidation processes in a jet engine fuel liquid phase	150
PART 4. ECONOMICS	155
Zelenskaya T. V., Prokhorov V. V. Improving financing methods for innovative activities in the military-industrial complex enterprises in the form of bonded debts	156
Gosteva O. V. Integrated execution estimation of projects at the enterprises in the space-rocket branch	159
Okrugin D. G., Yarichina G. F. Economical methods for fire risk management in administrative-territorial formations (using air and satellite monitoring)	163
Anikina Yu. A., Litovchenko V. I. Technique of an estimation of differentiation at regulation of socio-economic development urban agglomeration	169
Belyakova G. Ya., Vladyko A. K. Main directions analysis of the foreign trade cooperation of Krasnoyarsk region with China	172
Badryzlov V. A., Drofa V. V., Proskyrin V. V. Methods of forecasting of a market share in strategic planning	176
Zamay S. S. Intensive methods for the problems of regional development	180
Zamay S. S., Zhelikhovskaya V. V., Shalahina D. H. Territorial planning schemes of Krasnoyarsk territory and there prospects as instruments for complex planning	186
Falaleev A. N., Eremina V. A. On the problem of perfection of state anti-crisis policy tools in Russia	191
Denisova N. I. Trends and features of the educational services' market in the field of higher professional education in the Krasnoyarsk region	196
Yakishchik O. L., Semenkin O. E., Kleshkov V. M. Evaluation methods of the use effectiveness of organization human capital	202
Grosheva N. B. Defining the participants of an investment project	205
Grosheva N. B., Solskaya I. Yu. Delimitation of an investment project	207
Filko S. V. The features of operational decomposition expenditures in ship repair works	210
Belyakov S. A. The mechanism of stimulating the development of biotechnologies in foreign countries	214
Senashov S. I., Juferova N. Yu., Surnina E. V. Cost estimation of apartments' information system at secondary housing markets as a management tool for investments	219
Klimenkova T. A. Principles and methods of construction and functioning of service enterprise's management system in market condotoins	223
THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	228

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СИБГАУ»

Общие требования. Тексты статей представляются в редакцию журнала в электронном и печатном виде на русском и английском языках. Русскоязычная версия должна сопровождаться английским переводом фамилии автора(ов); названия статьи; аннотации; ключевых слов (см. пример оформления статьи).

Файл со статьей представляется на любом электронном носителе.

На последней странице ставится подпись автора (авторов) статьи. Количество авторов одной статьи – не более пяти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй раз – в соавторстве.

Индекс УДК предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

Оригинал должен быть чистым, не помятым, без правок, вписанных от руки. Страницы нумеруются карандашом на обороте.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Word.

Содержание. В статье необходимо сформулировать проблемы, отразить объект исследования, достигнутый уровень процесса исследования, новизну результатов, область их применения.

Статья должна заканчиваться выводом. Текст вывода набирается отдельным абзацем (абзацами), в котором акцентируется новизна результатов, эффективность их использования и др.

Объем статьи. 7–8 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографический список).

Параметры страницы. Формат А4 (210×297 мм). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

По центру помещаются инициалы и фамилия автора (авторов).

Не допускается (!) в тексте статьи набирать слова прописными (заглавными) буквами, жирным шрифтом или курсивом, а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформление набора, выполняемого в журнале.

Ниже по центру шрифтом 12 пт печатается название статьи и через строку курсивом – аннотация, ключевые слова (не более 6).

Основной текст статьи размещается через пробел от аннотации. Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается. Заголовки глав должны быть центрированы.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Ссылки на литературные или иные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки, например [1]. Ссылки должны быть последовательно пронумерованы.

Примечания: 1. Смысловые пояснения основного текста или дополнения к нему оформляются в виде внутритекстовых примечаний среди строк основного текста специальной рубрикой, выделенной светлым курсивом: *Примечание*. (одно примечание), *Примечания:* (несколько примечаний). Отделяются от текста *точкой* (если стоят в единственном числе в подбор к тексту примечания). Примечания должны быть последовательно пронумерованы.

2. При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Формулы. Простые внутрискочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов – символами (шрифт Symbol). Специальные сложные символы, а также многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным образом, должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Набор математических формул в пределах всего текста должен быть единообразен:

- русские и греческие символы – прямым шрифтом;
- латинские – курсивом;
- размер обычного символа – 12 пт;
- крупный индекс – 10 пт;
- мелкий индекс – 9 пт;
- крупный символ – 11 пт;
- мелкий символ – 10 пт.

Формулы, набранные отдельными строками, располагают по центру.

Не допускается (!) набор в основном тексте статьи простых латинских, греческих или специальных символов в редакторе формул.

Таблицы должны быть последовательно пронумерованы. Слово «таблица» набирается светлым курсивом с выравниванием вправо, шрифтом 11 пт, например *Таблица 1*, ниже – заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, то она может быть помещена на отдельной странице, а в случае, когда она имеет значительную ширину, – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации. Оформляются отдельным файлом с расширением tiff. Последовательно пронумеровываются обычным шрифтом без кавычек с выравниванием по центру, например Рис. 1. Могут содержать подрисовочную подпись, шрифт 11 пт. Иллюстрации могут быть сканированы с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Не принимаются цветные иллюстрации или с разрешением 300 dpi и более.

Библиографический список составляется в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещается после основного текста (ГОСТ 7.1–2003).

К печатному варианту статьи необходимо приложить:
1. Экспертное заключение о возможности открытой публикации.

2. Внешнюю рецензию (рецензент, желательно, не ниже ученой степени доктора наук).

3. Сведения об авторе:

– фамилия, имя, отчество (полностью);

– ученая степень, звание, должность;

– вуз, год его окончания;

– область научных интересов;

– место работы, номер телефона;

– адрес для переписки (для иногородних);

– e-mail.

Внимание! Материалы статьи авторы сдают лично секретарю журнала или высылают почтой с указанием обратного адреса. По электронной почте статьи не принимаются.

Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Пример оформления статьи

УДК 621.396.96.001(07)

И. А. Иванов

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ДВУХКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассматривается децентрализованная обработка информации в двухканальных измерительных системах при косвенном измерении для различных алгоритмов фильтрации оценки вектора состояния в измерительных пунктах и пункте обработки информации. Проводится сравнительный анализ результатов имитационного моделирования синтезированных алгоритмов

Ключевые слова (не более 6):

Задача обеспечения высокой точности оценивания координат и параметров траектории движения объекта может быть решена за счет применения многоканальных измерительных систем с оптимальной централизованной обработкой.

(Продолжение текста публикуемого материала)

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00 - 01- 00912).

Библиографический список

1. Гришин, Б. П. Динамические системы, устойчивые к отказам / Б. П. Гришин, Ю. М. Казаринов. М. : Радио и связь, 1985. 76 с.

2. Медведев, А. В. О моделировании организационных процессов / А. В. Медведев // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. Вып. 1. Красноярск, 2000. С. 173–191.

I. A. Ivanov

DECENTRALIZED ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING IN TWO-CHANNEL MEASURE SYSTEMS

It is covered a decentralized algorithms of information processing in two-channel measure systems in case of an indirect measuring for different filtration algorithms of a condition vector estimation at the reception measure station and the station of information processing. Comparative analysis is carried out with a help of imitation modeling of synthesized algorithms.

Keywords: