

ВЕСТНИК

Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 1 (27)

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. ЛАПТЕНОВ
А. Н. ЛОВЧИКОВ
А. В. МЕДВЕДЕВ
В. В. МОСКВИЧЕВ
В. А. ОХОРЗИН
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 коммуникаций 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 29.03.2010. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 19,95.

Уч.-изд. л. 36,25. Тираж 1000 экз. Заказ 87/53. С 20/10.

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.

А. А. Колташев

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СПУТНИКОВ

Представлен подход, гарантирующий качество системного тестирования и подтверждения разрабатываемого бортового программного обеспечения спутников связи, навигации и геодезии. Подход базируется на архитектурной декомпозиции бортового программного обеспечения, программном моделировании подсистем спутника и высоком уровне пользовательского интерфейса инструментальных средств.

Ключевые слова: бортовое программное обеспечение, системное тестирование, спутник, интерфейс, программное моделирование.

Одной из важнейших задач при разработке бортового программного обеспечения (БПО) спутников является гарантирование требуемого уровня его качества, которое обеспечивается при реализации этапов системного тестирования и подтверждения БПО. В ОАО «Информационные спутниковые системы» имени М. Ф. Решетнева» (ИСС) при разработке БПО спутников связи, навигации и геодезии эффективность этих этапов достигается путем использования в технологии разработки БПО [1–3] ряда принципов, рассматриваемых ниже.

Архитектурная декомпозиция БПО. Первым условием эффективного тестирования и подтверждения БПО является его архитектурная декомпозиция (рис. 1).

Эта декомпозиция предполагает, что, во-первых, БПО функционально и структурно распадается на программное обеспечение (ПО) подсистем, во-вторых, ПО всех подсистем строится на базе средств, предоставляемых ПО

бортового комплекса управления спутника (ПО БКУ), и, в-третьих, интегральные вопросы функционирования БПО решаются в ПО БКУ.

Такая декомпозиция обеспечивает эффективное распределение ответственности за функциональные возможности БПО и определяет состав типового графика системного тестирования и разработки БПО, обеспечивающего необходимую степень отработки БПО с минимальными затратами.

Программное моделирование. Второе условие эффективного тестирования и подтверждения БПО – это использование программных моделей аппаратуры БКУ спутника и моделей поведения подсистем спутника. Эти модели входят в состав наземного отладочного комплекса (НОК) БПО, который является основным средством системного тестирования БПО (рис. 2).

Модели поведения подсистем спутника рассматриваются как составные части процедур тестирования ПО

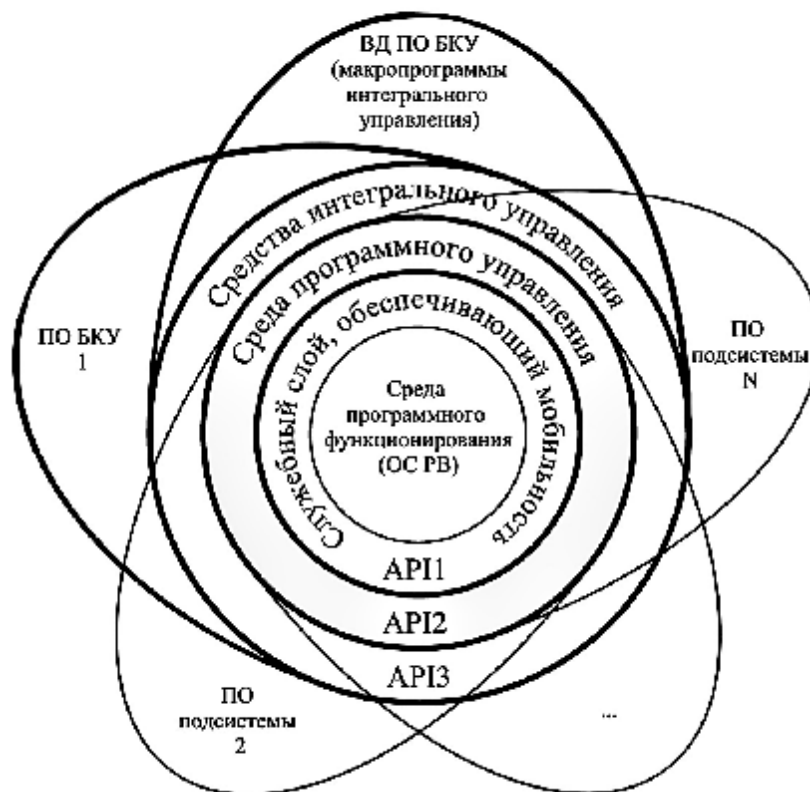


Рис. 1. Архитектура БПО спутника связи: N – число подсистем спутника

соответствующих подсистем, и за их создание отвечают отделы ОАО «ИСС», разрабатывающие ПО соответствующих подсистем.

Унифицированный пользовательский интерфейс высокого уровня. НОК БПО не только позволяет тестировать БПО на всем множестве функциональных возможностей БПО, но и благодаря входящей в его состав автоматизированной системе испытаний и телеметрической обработки предоставляет унифицированный пользовательский интерфейс для системного тестирования, базирующийся на графическом формализованном языке описания процедур и вариантов тестирования – языке циклограмм [4].

Высокий уровень данного интерфейса позволяет проектировать и проводить системное тестирование непосредственно проектантами логики функционирования как отдельных подсистем спутника, так и спутника в целом. Благодаря своей унифицированности этот интерфейс может быть использован на всех рабочих местах испытаний инженерных изделий и спутников ОАО «ИСС», а его постоянство способствует передаче и накоплению опыта и существенно упрощает сопровождение БПО.

Формальный графический язык тестирования. Формальный графический язык описания циклограмм тестирования и средства подготовки циклограмм, предоставляемые автоматизированной системой испытаний, дают возможность наглядного описания процедур тестирования, позволяют автоматизировать повторное тести-

рование и создают предпосылки для решения задачи автоматизированной генерации тестов.

Подтверждение в составе подсистем. Важнейшим принципом эффективного тестирования и подтверждения БПО является принцип разработки БПО спутника как встроенного в техническую систему программного обеспечения, структурно состоящего из совокупности ПО функциональных подсистем спутника.

Такой подход не только делает прозрачной ответственность за функциональные возможности БПО, но и существенно упрощает процедуру подтверждения БПО перед заказчиком, так как подтверждение функциональных требований к БПО распадается на подтверждение функциональных требований к ПО подсистем, которые определяются на уровне этих подсистем и подтверждаются при их отработке, что приводит к существенному сокращению затрат на подтверждение БПО.

Эффективный типовой график работ. Реализация перечисленных выше принципов позволяет создать эффективный типовой график системного тестирования и подтверждения БПО (рис. 3) [5]. Использование в названиях этапов термина «комплексная отладка» (КО), вместо современного термина «системное тестирование», исторически обусловлено [6].

График предусматривает системное тестирование ПО БКУ и ПО подсистем на уровне функций подсистем и системное тестирование интегральных функций БПО на



Рис. 2. Архитектура НОК БПО: БЦВК – бортовой цифровой вычислительный комплекс; ИКБК – интерпретатор команд бортового компьютера; БД КУ – база данных команд управления; ТМИ – телеметрическая информация; ЦГ – циклограммы испытаний; АСУ ИТО – АСУ испытаний и телеметрической обработки; GUI1 – штатный интерфейс; GUI2 – отладочный интерфейс; GUI3 – технологический интерфейс

уровне спутника в целом, т. е. на этапах 1,08 БКУ, 01.ИМ, ЭРТИ.

Подтверждение БПО осуществляется в рамках приведенных на графике работ по отработке технологических изделий и спутника в целом. При этом между этапами системного тестирования и этапами подтверждения подсистем существуют некоторые объективные зависимости.

Например, работы по этапу «КО БПО в обеспечение КО подсистем» должны быть завершены к началу отработки изделия 1,08 БКУ, а работы по этапам «КО БПО в обеспечение КО БПО» и «КО ПО подсистем в режимах систем» не могут быть завершены до завершения работ по отработке изделия 1,08.БКУ. Аналогично работы по этапам «КО ПО подсистем в режимах КА» и «КО БПО» не могут быть завершены до завершения работ по отработке изделия 01.ИМ. Окончательная версия БПО для летных испытаний спутника возникает только после завершения ЭРТИ спутника в целом.

Дополнительные достоинства подхода. Одним из достоинств использования программных моделей и НОК БПО для системного тестирования является возможность глубокой отладки компонентов БПО в терминах используемого языка программирования (Модуль-2). Другое достоинство заключается в возможности создания на основе программных моделей НОК программной модели спутника для его имитаторов. В этом случае программные модели лишь дополняются небольшим количеством функций, не нужных для системного тестирования БПО, но предусмотренных эксплуатационной документацией на спутник. Кроме того, НОК без каких-либо доработок может использоваться для предварительной отработки циклограмм испытаний подсистем на технологических изделиях, а также спутника в целом. Эта возможность обеспечивается за счет применения на рабочих местах испытаний и НОК БПО единых унифицированных средств автоматизации испытаний.

Таким образом, использование в технологии разработки БПО спутников рассмотренных выше принципов позволяет не только создавать программное обеспече-

ние в нужном количестве, в требуемые сроки и с необходимым уровнем качества, но и существенно сокращает затраты на его разработку. Этот факт был подтвержден в рамках многих программ и проектов, выполненных и выполняемых ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», в том числе при разработке БПО спутников связи серии «Экспресс-АМ», спутников навигации системы ГЛОНАСС и геодезического спутника «Гео-ИК».

Библиографические ссылки

1. Колташев А. А. Технология разработки и сопровождения мобильного программного обеспечения спутников связи // Изв. вузов. Серия «Приборостроение». 2004. № 4.
2. Антамошкин А. А., Колташев, А. А. Технологические аспекты создания бортового программного обеспечения спутников связи // Вестник СибГАУ. 2005. Вып. 6.
3. Колташев А. А. Эффективная технология управления циклом жизни бортового программного обеспечения спутников связи и навигации // Авиакосмич. приборостроение. 2006. № 12.
4. Программное обеспечение автоматизации испытаний спутников связи и навигации / М. Ю. Баев, А. В. Барков, В. А. Дубенко и др. // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека : материалы Всерос. науч.-техн. конф. (10–14 окт. 2007, г. Железнодорожск). Красноярск, 2007.
5. Разработка и подтверждение бортового программного обеспечения спутников связи и навигации / П. М. Ерохов, А. А. Колташев, С. Г. Кочура и др. // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека : материалы Всерос. науч.-техн. конф. (10–14 окт. 2007, г. Железнодорожск). Красноярск, 2007.
6. Колташев А. А., Кочура С. Г., Хартов В. В. Современная технология разработки и сопровождения бортового программного обеспечения спутников связи и навигации // Космические вехи : сб. науч. тр., посвящ. 50-летию создания ОАО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева». Красноярск, 2009.

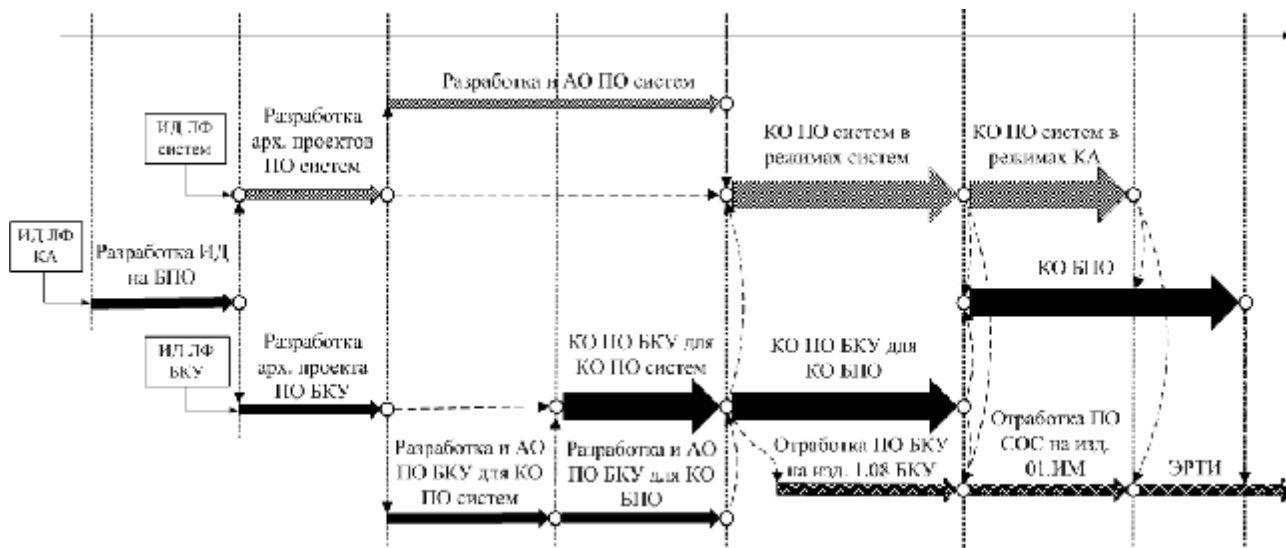


Рис. 3. Типовой график системного тестирования и подтверждения БПО (утолщенными линиями представлены работы по системному тестированию)

А. А. Koltashev

MAIN PRINCIPLES OF COMMUNICATION AND NAVIGATION SATELLITES ONBOARD SOFTWARE SYSTEM TESTING AND VALIDATION

This paper describes an approach providing the quality of system testing and validation stages of the developed onboard software for communication and navigation satellites. The approach is based on the onboard software stratification, software modeling of satellite subsystems and high level of the users interface of the software testing tools.

Keywords: onboard software, system testing, satellite, interface, software modeling.

© Колташев А. А., 2010

УДК 629.78.051:681.3

В. В. Прудков

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОНОМНОЙ ОТРАБОТКИ ПОДСИСТЕМ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрена концепция, состав, принцип построения и взаимодействия составных частей, а также возможности программного обеспечения отработки подсистем блока управления космического аппарата. Описан разработанный протокол обмена программы рабочего места и специального программного обеспечения центрально-процессорного модуля.

Ключевые слова: блок управления, центрально-процессорный модуль, интерфейсный модуль сопряжения, автономная отработка.

В настоящее время блоки управления (БУ) бортового комплекса управления (БКУ) современных и перспективных космических аппаратов, выпускаемых ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», проектируются по модульному принципу и состоят из центрально-процессорного модуля (ЦПМ), который позволяет реализовать все логические функции конкретной аппаратуры не аппаратными, а программными средствами, и интерфейсных модулей сопряжения (ИМС), осуществляющих управления системами КА и подключаемых к ЦПМ по последовательному периферийному интерфейсу (ППИ). Управление БУ осуществляется бортовым интегрированным вычислительным комплексом (БИВК) по мультиплексному каналу обмена (МКО) (ГОСТ Р 52070–2003). ЦПМ принимает команды управления по МКО от БИВК, декодирует их и выдает слова данных (СД), содержащие команды управления (КУ), в соответствующие подсистемы БУ (ИМС). БИВК также считывает СД, содержащие телеметрическую информацию, от ЦПМ.

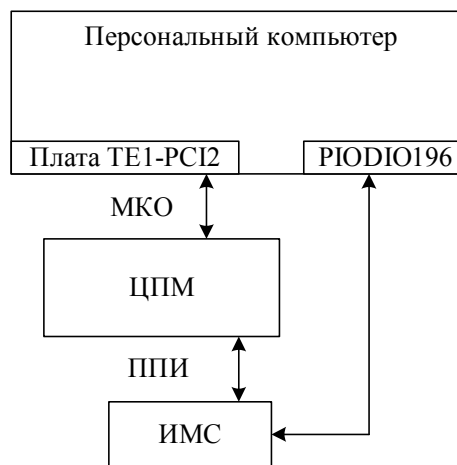
Проведение автономных испытаний ИМС является очень важным этапом при отработке блоков управления перспективных космических аппаратов, так как оно позволяет на ранних этапах провести проверку заложенных схемных и технических решений в соответствии с техническим заданием (ТЗ).

Цель проведения автономной отработки ИМС заключается в проверке правильности реализации требований ТЗ, выявлении ошибок при проектировании и изготовлении ИМС, а также в проектах программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) ИМС.

В ходе проведения автономной отработки ИМС решались следующие задачи:

- полная проверка функционирования как отдельных блоков ИМС, так и всех ИМС, состоящих из нескольких блоков;
- проверка устойчивости функционирования ИМС при аномальных ситуациях;
- выявление ошибок в функционировании ИМС.

Рабочее место автономной отработки ИМС (см. рисунок) состоит из персонального компьютера (ПК), ЦПМ и подключаемых ИМС. Для информационного обмена ПК с ЦПМ применяется плата TE1-PCI2, поддерживающая протокол МКО. Для связи ПК и ИМС используется плата PIODIO196.



Рабочее место автономной отработки ИМС

Построенное по такому принципу рабочее место создает определенные трудности при разработке программного обеспечения автономной отработки ИМС, так как отсутствует возможность прямого воздействия персонального компьютера на ИМС.

Первоначальный вариант построения ПО автономной отработки ИМС заключался в написании отдельных программ-тестов, зашиваемых в ЦПМ и запускаемых оператором с помощью программы на ПК. Но этот вариант построения ПО имел ряд недостатков:

- необходимо разрабатывать большое количество программ-тестов, зашиваемых в ЦПМ, для проверки каждого ИМС, что влечет за собой значительный объем работ и затрату большого количества времени на разработку и написание этих программ-тестов;
- для перехода от одного теста к другому каждый раз нужно перепрошивать ЦПМ, записывая в него новую программу-тест, что требует значительных временных затрат;
- локальное изменение программы-теста в ЦПМ невозможно, следовательно для изменения каких-либо параметров необходимо перепрошивать ЦПМ программой-тестом с измененными параметрами;
- для перепрошивки ЦПМ новой программой-тестом необходимо привлекать специалиста либо обучать разработчика ИМС, который осуществляет проверку.

Недостатки такого подхода к построению ПО не позволяют проводить автономную отработку ИМС с минимальными трудозатратами и в кратчайшие сроки. Тщательный анализ ситуации помог преодолеть эти недостатки путем создания универсального программного обеспечения, которое решает поставленные задачи по проведению отработки ИМС и обладает рядом дополнительных достоинств: оно может отрабатывать несколько ИМС, соединенных между собой по межблочным разъемам и подключенных к ЦПМ, а также блоки управления в сборе с использованием в качестве соединения ИМС штатных кабелей.

Разработанное ПО можно разделить на две части:

- основное ПО, которое является управляющим, т. е. задает управляющие воздействия и считывает СД на входах ИМС;
- дополнительное ПО, которое контролирует состояние регистров ИМС и позволяет записывать/считывать СД на выходах ИМС.

Основное ПО включает следующие элементы:

- программу «Рабочее место проверки ИМС», разработанную на языке Borland C++ Builder 6.0 и устанавливаемую на персональном компьютере;
- специальное программное обеспечение (СПО), зашиваемое в ЦПМ. Оно выполнено в технологической среде разработки программного обеспечения ЦПМ, предоставляемой ФГУП НИИ «Субмикрон», и полностью поддерживает разработанный протокол.

Для обеспечения информационного взаимодействия этих программ был разработан протокол, основанный на протоколе обмена по МКО. Особенностью этого протокола является то, что разработчик, проверяющий ИМС, передает с ПК в ЦПМ сообщения, составленные в соответствии с протоколом ППИ, и дополнительную информацию обмена. Приняв полученные сообщения, ЦПМ

выдает их в ИМС согласно дополнительной информации. Данная технология делает протокол МКО прозрачным и позволяет формировать сообщения по ППИ на компьютере. Благодаря этой технологии нет необходимости корректировать СПО, достаточно зашить его в ЦПМ один раз и затем использовать для проверки любых ИМС различных изделий.

В состав дополнительного ПО входит набор программ, разработанных на языке Borland C++ Builder 6.0 специально для конкретного ИМС в соответствии с его исходными данными. Каждая программа предназначена для регистрации состояния внутренних регистров и задания значений выходных регистров конкретного ИМС.

Основной принцип работы ПО автономной проверки ИМС заключается в следующем. Оператор задает на персональном компьютере набор пакетов в программе «РМ проверки ИМС», каждый из которых состоит из сообщения в формате ППИ и дополнительной информации, необходимой для обмена. В свою очередь программа «РМ проверки ИМС» формирует из каждого пакета сообщение по МКО в соответствии с разработанным протоколом. После задания пакетов оператор запускает обмен. Сообщения с помощью платы TE1-PCI2 передаются от ПК в ЦПМ по каналу МКО. ЦПМ, принимая каждое сообщение, декодирует его согласно разработанному протоколу и передает по ППИ на входы ИМС согласно дополнительной информации, находящейся в полученном сообщении. Если в сообщении указан тип обмена «Чтение СД», то ЦПМ считывает СД со входов ИМС. Эти слова данных содержат информацию, формируемую в самом ИМС и на его выходах. Формирование внутренних данных в ИМС контролируют специальные дополнительные программы, написанные для конкретного ИМС, с помощью платы P10DIO196. Эти же программы контролируют и состояние выходов ИМС, отображая на экране полученные данные, а также задают состояния регистров на выходах ИМС для их последующего считывания ЦПМ.

Основные особенности разработанного ПО следующие:

- единая оболочка, позволяющая разработчику ИМС проводить автономную отработку ИМС через единую оболочку – программу «РМ проверки ИМС» – путем задания различных тестов;
- прозрачность протокола МКО: разработанный протокол может обойти протокол МКО, задавая на компьютере сообщения в формате ППИ с дополнительной информацией;
- простота в использовании: единая оболочка и интуитивно понятный интерфейс позволяют разработчикам ИМС создавать пакеты тестов, проводить проверку и анализировать полученную информацию без чьей-либо помощи.

Единая оболочка отработки ИМС обладает следующими функциональными возможностями, которые в своей совокупности являются мощным средством обеспечения гибкой, надежной и достоверной отработки ИМС:

- генерацией набора пакетов, которая предоставляет оператору средства для автоматического формирования цепочки пакетов на основании заданных параметров, соответствующих конкретному ИМС;

– предварительным анализом набора пакетов на предмет полноты и правильности составления. В случае невыполнения этих условий программа выдает соответствующие предупреждения, исключая тем самым возможные ошибки, вносимые оператором при корректировке цепочки пакетов;

– работой в автоматическом режиме. При этом запускается заданная цепочка пакетов с автоматическим изменением данных на каждом цикле выполнения этих пакетов, а объем изменяемых данных задается предварительно оператором;

– анализом протокола обмена, который выявляет ошибки в функционировании ИМС на основании полученных данных и отображает оператору подробную информацию об этом;

– имитацией нештатных ситуаций, которая проверяет работоспособность ИМС при неполноте или недостоверности передаваемой в него информации.

Таким образом, разработанное ПО полностью решает поставленные задачи автономной отработки ИМС, а так-

же, благодаря своим особенностям, позволяет проверять работоспособность ИМС при возникновении нештатных ситуаций путем их моделирования, автономно обрабатывать каждый комплект ИМС (основной/резервный), подключаемый к каждому комплекту ЦПМ (основному/резервному), проводить автономную отработку БУ в сборе.

В настоящее время с помощью данного программного обеспечения проведена автономная отработка ИМС блоков управления космических аппаратов «Муссон». Оно используется и при отработке КА «Глонасс-К», «Луч-5». В ходе проведения испытаний была подтверждена правильность выбранного подхода к построению программного обеспечения, которое доказало свою надежность, универсальность и простоту в использовании, благодаря чему оно может применяться для отработки последующих ИМС блока управления перспективных КА.

Дальнейшим направлением развития программного обеспечения автономной отработки может быть интеграция дополнительных программ в основную для более удобного оперирования с данными на уровне единой программной оболочки.

V. V. Prudkov

SOFTWARE OF STAND-ALONE DEVELOPMENT OF SUBSYSTEMS OF THE CONTROL MODULE OF THE PERSPECTIVE SPACE VEHICLES

The conception, composition, principle of construction and interaction of components and also capabilities of stand-alone development of the software for the subsystems of the control module of space vehicles is considered. The developed protocol of exchange of the workplace program and the central-processor module special software is described.

Keywords: control module, central-processor module, interfacing of the control module, stand-alone development.

© Прудков В. В., 2010

УДК 629.735.064

Е. А. Фурманова, О. Г. Бойко, Л. Г. Шаймарданов

ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Проведен анализ правомерности применения традиционного подхода к расчету надежности систем с индивидуальным резервированием. Разработан альтернативный метод расчета систем с индивидуальным резервированием и показана возможность его использования при решении задач оптимизации структуры функциональных систем.

Ключевые слова: анализ надежности, оптимизация структуры, функциональные системы.

Функциональные системы самолетов выполняют большое число жизненно важных функций: осуществляют привод рулевых поверхностей средств механизации планера, обеспечивают питание топливом авиационных двигателей, осуществляют наддув салонов и кондиционирование воздуха в них, снабжают всех потребителей переменным и постоянным током, защищают самолет от обледенения, выполняют функции по пожаротуше-

нию, обеспечивают автоматическое пилотирование и самолетовождение (аэронавигацию).

На всех магистральных самолетах одноименные функциональные системы выполняют одни и те же функции. Вместе с тем одноименные системы различных разработчиков, а зачастую и одного разработчика на различных типах самолетов, имеют существенные различия в структуре функциональных систем. К тому же при од-

ном и том же уровне развития машиностроения, обеспечивающем одинаковый уровень надежности агрегатов систем, степень как индивидуального, так и общего резервирования у одноименных систем различных типов самолетов существенно различается. Такое положение связано с отсутствием исследований в области оптимизации структуры систем.

Проведем анализ возможностей общего и индивидуального резервирования в обеспечении надежности систем.

Рассмотрим систему индивидуального резервирования, содержащую n последовательно соединенных блоков, каждый из которых включает $m = 2$ параллельно соединенных агрегатов (рис. 1).

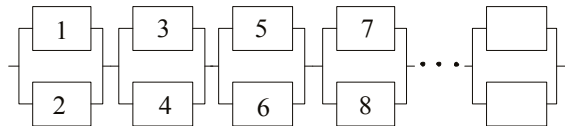


Рис. 1. Структурная схема системы с индивидуальным резервированием

Будем считать, что все агрегаты имеют одинаковые параметры потоков отказов, равные ω .

Примем в качестве математической модели вероятности отказа агрегатов распределение с равномерной плотностью вероятности. Тогда интегральная функция вероятности отказа агрегата будет

$$q(t) = \omega \cdot t.$$

Положив $t = 1$, найдем вероятность отказа на 1 ч полета:

$$q = \omega.$$

При традиционном подходе к расчету надежности [1; 2] вначале определяется вероятность отказа блоков из параллельно включенных агрегатов

$$q_{\delta} = \omega^2$$

и их вероятность безотказной работы

$$P_{\delta} = 1 - \omega^2.$$

Исходная система в этом случае заменяется системой последовательно соединенных элементов, вероятности безотказной работы которых равны P_{δ} . Далее определяется вероятность отказа исходной системы:

$$Q_c^r = 1 - (1 - \omega^2)^n. \quad (1)$$

Таким образом, вероятность отказа системы с последовательно соединенными блоками возрастает по мере увеличения числа блоков n .

Однако в действительности это далеко не так. Исходная система (см. рис. 1) откажет только в том случае, если в одном из блоков (любом) откажут оба агрегата. А по-

скольку вероятности отказов агрегатов в 1 ч одинаковы и равны ω , то возможны различные сценарии отказов агрегатов, не приводящие к отказу системы, например могут отказаться агрегаты 1, 3, 6, 7 безразлично в какой последовательности. И чем больше n , тем меньше вероятность отказа двух агрегатов в одном блоке.

Определим эту вероятность. Первым может отказать любой агрегат системы с вероятностью ω . Вероятность того, что вторым откажет агрегат, установленный в одном блоке с первым, равна $\frac{1}{2n-1}\omega$. Тогда наибольшая вероятность отказа рассматриваемой системы при предлагаемом альтернативном подходе к расчету систем с индивидуальным резервированием будет

$$Q_c^a(n) = \frac{\omega^2}{2n-1}. \quad (2)$$

Другие возможные сценарии развития отказа в системе определяют существенно меньшие вероятности отказа в соответствии с выражением

$$Q_{ci}^a(n) = \frac{\omega^i}{\prod_{j=2}^i (2n-j+1)}, \quad (3)$$

где i – число отказавших агрегатов в системе, приводящее ее к отказу при рассматриваемом сценарии развития отказов.

Здесь важно подчеркнуть тот факт, что при увеличении числа n последовательно соединенных блоков вероятность отказа в соответствии с (2) и (3) уменьшается, а не возрастает в соответствии с традиционным подходом (1).

Разработанный альтернативный метод расчета надежности систем с резервированием позволяет по-новому взглянуть на возможности повышения надежности систем за счет изменения подхода к применению сочетания общего и индивидуального резервирования.

Рассмотрим систему, состоящую из двух параллельно работающих подсистем, содержащих по 16 последовательно соединенных агрегатов (рис. 2).

Вероятность отказа такой системы определится как

$$Q_c^{\text{общ}} = [1 - (1 - \omega)^2]^{16}, \quad (4)$$

где $n = 16$ – число последовательно соединенных агрегатов; $m = 2$ – число параллельно соединенных подсистем; $\omega = 0,01$ – параметр потока отказов, одинаковый для всех агрегатов.

Не изменяя числа агрегатов в системе и степень ее резервирования, разделим систему на z частей, соединенных последовательно (рис. 3).

Рассчитаем надежность этой системы. Вероятность отказа каждой ветви любой из четырех частей будет

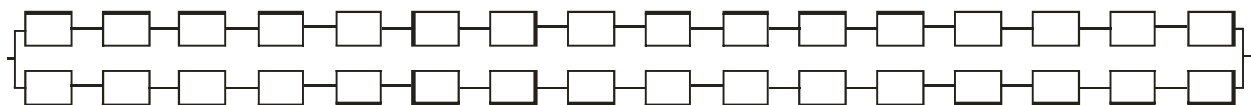


Рис. 2. Система общего резервирования

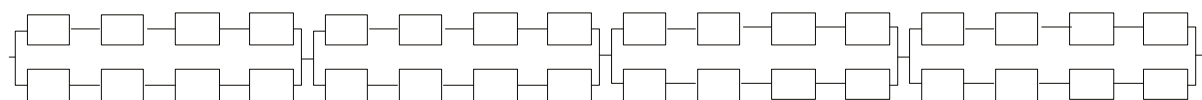


Рис. 3. Исходная система, разделенная на $z = 4$ части общего резервирования

$$Q_b = 1 - (1 - \omega)^4. \quad (5)$$

Тогда система, представленная на рис. 3, преобразуется к следующему виду (рис. 4).

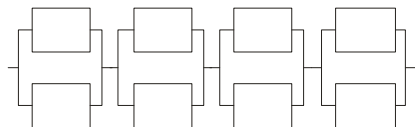


Рис. 4. Исходная система, разделенная на $z = 4$ частей и преобразованная к схеме индивидуального резервирования

В этой системе вероятность отказа каждого элемента равна Q_b и определяется по формуле (5). Первая и наибольшая вероятность отказа системы (см. рис. 4) реализуется, когда откажут два элемента в одном блоке:

$$Q^a(z) = \frac{\omega^2}{7}.$$

Для рассматриваемых систем были выполнены расчеты вероятностей отказов при общем резервировании, и после разбиения на z частей по традиционной и альтернативной методикам построены зависимости от z $\frac{Q_{\text{общ}}}{Q^a(z)}$ и $\frac{Q_{\text{общ}}}{Q^r(z)}$ (рис. 5–8).

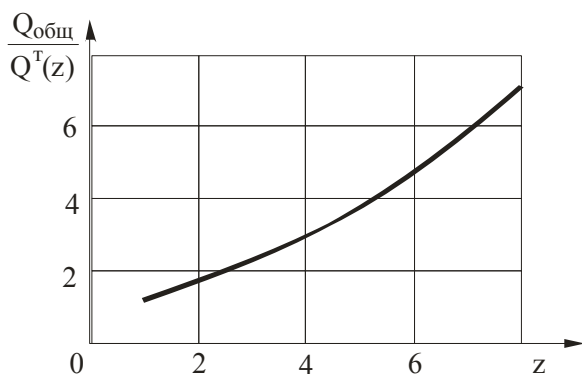


Рис. 5. Зависимость от z отношения вероятностей отказа исходной системы общего резервирования к вероятности отказа системы, разделенной на z частей и рассчитанной по традиционной методике при $n = 16$, $m = 2$ и $\omega = 1 \cdot 10^{-2}$

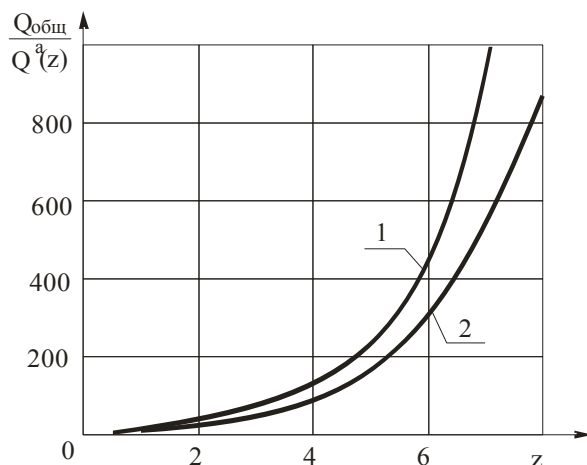


Рис. 6. Зависимость от z отношения вероятностей отказа исходной системы к вероятности отказа системы, разделенной на z частей и рассчитанной по альтернативной методике при $n = 16$, $m = 2$, $\omega = 1 \cdot 10^{-5}$ (1), $\omega = 10^{-2}$ (2)

Расчеты, выполненные на основе традиционной методики, показывают увеличение надежности системы общего резервирования при разделении ее на z частей и переводе ее в систему, содержащую z блоков с индивидуальным резервированием (см. рис. 5). Но это увеличение надежности не существенное: так, при $z = 2$ оно составляет 1,8 раза, а при $z = 4 - 3,5$ раза.

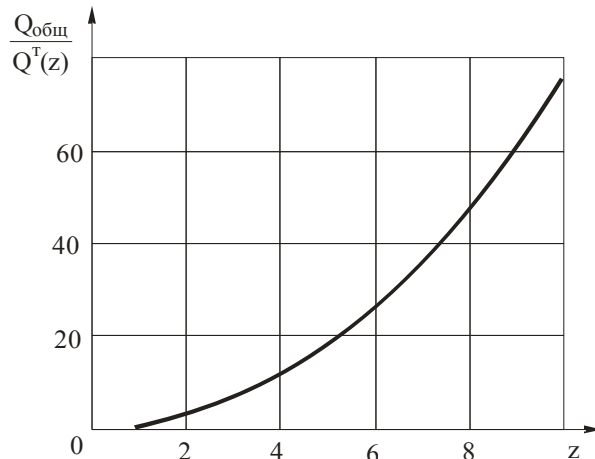


Рис. 7. Зависимость от z отношения вероятностей отказа исходной системы к вероятности отказа системы, разделенной на z частей и рассчитанной по традиционной методике при $n = 20$, $m = 3$ и $\omega = 1 \cdot 10^{-2}$

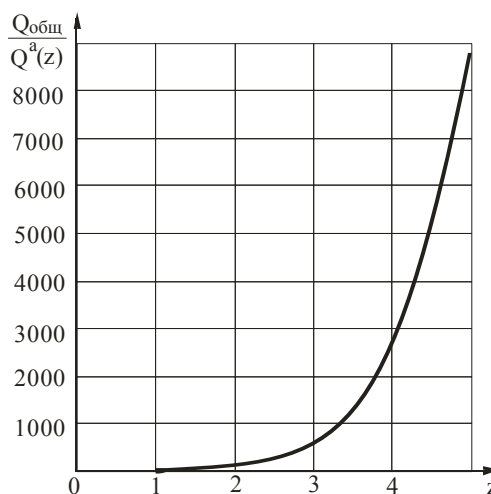


Рис. 8. Зависимость от z отношения вероятностей отказа исходной системы к вероятности отказа системы, разделенной на z частей и рассчитанной по альтернативной методике при $n = 20$, $m = 3$ и $\omega = 1 \cdot 10^{-2}$

Перевод системы с общим резервированием к системе с z блоками индивидуального резервирования по традиционной методике сопряжен с определенными трудностями, на которых мы остановимся далее, а несущественное увеличение надежности не стимулирует разработчиков систем к их преодолению.

Кратко охарактеризуем эти трудности. В гидравлической системе, состоящей из двух одинаковых подсистем, разрыв трубопровода либо корпуса одного из агрегатов приводит к потере всей гидрожидкости в подсистеме. Вторая подсистема останется работоспособной и обеспечит выполнение всех функций гидросистемы. Изменение схемы системы, разделяющее ее на z блоков индивидуаль-

ного резервирования, лишит ее такой защиты. Подсистемы оказываются объединенными в одну, и потеря жидкости в одной ветви z -й части системы приведет к потере жидкости во всей системе, а это недопустимо. Здесь возможно использование ряда блокирующих мер, например в каждой ветви z -й части системы может устанавливаться расходомер, в ее начале – запорный кран, а в конце – обратный клапан. На определенных участках полета расхода жидкости через систему быть не должно. Если расход жидкости на этих участках появляется, то это говорит о разгерметизации. В этом случае от расходомера поступает сигнал, перекрывной кран закрывается и утечка жидкости с учетом обратного клапана устраняется. При включении штатных потребителей, требующих определенного расхода жидкости для их работы, перекрывной клапан блокируется.

Для систем электропитания система обеспечения сохранения работоспособности станет намного проще. При обрыве цепи одной из ветвей z -й части эту ветвь блокировать не следует, так как она перестает работать и всю нагрузку принимает параллельная ветвь этой z -й части. Для блокирования распространения влияния короткого замыкания в одной ветви z -й части на предыдущие части системы в начале каждой ветви каждой z -й части необхо-

димо установить автомат защиты сети АЗС (предохранитель).

При альтернативной методике расчета увеличение надежности с разбиением системы на z частей существенно больше (см. рис. 6). Так, при $z = 4$ оно достигает 100 раз, а при $z = 6 - 340...400$ раз.

Для системы с общим резервированием при трех параллельно работающих подсистемах эффект будет еще выше. При традиционном подходе к расчету надежности при $z = 4$ он дает 12-кратное увеличение надежности (см. рис. 7), а при альтернативном подходе (см. рис. 8) надежность возрастает в 2 800 раз при $z = 4$ и в 9 000 раз при $z = 5$.

Это не может не стимулировать разработчиков к преодолению упомянутых выше трудностей, связанных с переходом от систем с общим резервированием к системам, имеющим z блоков индивидуального резервирования.

Библиографические ссылки

1. Воробьев В. Г., Константинов В. Д. Надежность и эффективность авиационного оборудования. М.: Транспорт, 1995.
2. Сугак Е. В., Василенко Н. В., Назаров Г. Г. Надежность технических систем. Красноярск: РАСКО, 2001.

Е. А. Furmanova, O. G. Boiko, L. G. Shaimardanov

THE CIVIL AVIATION AIRPLANES FUNCTIONAL SYSTEM STRUCTURE OPTIMIZATION ABILITIES

The analysis of legitimacy of application of the traditional approach to calculation of reliability of systems with individual reservation is given. The alternative method of calculation of systems with individual reservation is developed and possibility of its use at the decision of problems of optimization of structure of functional systems is shown.

Keywords: reliability analysis, structure optimization, functional systems.

© Фурманова Е. А., Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г., 2010

УДК 621.373.14

А. М. Михеенко, С. С. Абрамов, И. И. Павлов

К АНАЛИЗУ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Приведены результаты исследования широтно-импульсной системы (ШИС), охваченной цепью отрицательной обратной связи. На основе асимптотического метода снижения порядка линейной части системы предложена методика сведения ШИС к эквивалентной нелинейной амплитудно-импульсной системе, для которой применимы известные методы исследования.

Ключевые слова: устойчивость, широтно-импульсные системы, сложные линейные цепи, нелинейные искажения.

Широтно-импульсные системы (ШИС) находят применение в устройствах автоматического регулирования (управления), а также в усилителях мощности класса D с промежуточной широтно-импульсной модуляцией, охваченных отрицательной обратной связью для уменьшения нелинейных искажений. Наличие обратной связи в ШИС неизбежно

связано с проблемой обеспечения устойчивости. Решение этой проблемы в виде, приемлемом для практического применения, для ШИС в общем случае не существует. Возможности частных решений были рассмотрены в [1; 2].

Необходимо провести поиск новых методов анализа устойчивости ШИС, применимых в практических приложениях.

Методы анализа широтно-импульсных систем. Анализ импульсных систем производится, как правило, на базе теории решетчатых функций и дискретного преобразования Лапласа [1]. Теория амплитудно-импульсных систем (АИС) в настоящее время разработана достаточно подробно как для линейного тракта, так и для систем, содержащих нелинейные безынерционные элементы [1; 2].

В отличие от АИС, ШИС значительно труднее поддается анализу, поэтому их исследуют путем сведения к эквивалентным нелинейным АИС (рис. 1)

Согласно [2] уравнение системы (см. рис. 1) в решетчатых функциях имеет вид

$$x(n, 0) = f(n, 0) - BT \times \sum_{m=0}^{n-1} \Phi(x) \int_0^{\gamma} S(\bar{\tau}) \omega(n-m-1, 1-\bar{\tau}) d\bar{\tau}, \quad (1)$$

где $\bar{\tau} = \frac{\tau}{T}$ – дискретное время; B – коэффициент линейного усиления $x(t)$ в тракте АИС.

Интеграл в (1) представляет собой свертку функции формирующего элемента и импульсной характеристики $\omega(t)$. В [2] он получил название приведенной импульсной характеристики $\omega_n(t)$.

Если уравнение ШИС удастся свести к (1) (рис. 2), то к ней можно применить все известные методы анализа и расчета нелинейных АИС.

Для ШИС функция формирующего элемента $s(t)$ имеет вид, представленный на рис. 3, где T – период тактовой частоты и $s(\bar{\tau})$ соответствует двусторонней широтно-импульсной модуляции (ШИМ). При $K_1 = 0$, или $K_2 = 0$ имеет место односторонняя ШИМ.

По аналогии с (1), для ШИС можно записать следующее выражение:

$$x(n, 0) = f(n, 0) - BT \times \sum_{m=0}^{n-1} \int_{\Phi_1(x)}^{\Phi_2(x)} S(\bar{\tau}) \omega(n-m-1, 1-\bar{\tau}) d\bar{\tau}. \quad (2)$$

В отличие от (1) интеграл в (2) является функцией $x(t)$, что и определяет особенности анализа ШИС. Согласно рис. 3,

$$\Phi_1(x) = K_2(1-x), \quad \Phi_2(x) = K_1 + K_1x, \quad K_1 + K_2 = 1. \quad (3)$$

Введем понятие коэффициента асимметрии ШИМ:

$$A = \frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2}, \quad K_1 = \frac{1+A}{2}, \quad K_2 = \frac{1-A}{2}. \quad (4)$$

На интервале интегрирования в (2) $s(\bar{\tau}) = 1$, а $\omega(n-m-1; 1-\bar{\tau})$ можно представить рядом элементарных импульсных характеристик:

$$\omega(n-m-1, 1-\bar{\tau}) = \sum_{v=0}^s \sum_{\mu=0}^{r_v-1} C'_{v\mu} \frac{(n-m-\bar{\tau})^\mu}{\mu!} \times \exp \left[q_v(n-m-\bar{\tau}) \right], \quad (5)$$

где s – число разных полюсов; r_v – кратность v -го полюса;

$$C'_{v\mu} = \frac{1}{(r_v - \mu - 1)!} \frac{d^{(r_v - \mu - 1)}}{dq^{(r_v - \mu - 1)}} \times \left[\frac{P_v(q)}{TQ_v(q)} (q - q_v)^{r_v} \right]_{q=q_v};$$

$P_v(q)$; $Q_v(q)$ – полиномы в числителе и знаменателе передаточной функции непрерывной части ШИС $W(q)$.

Предположим, что все полюса простые и не равны нулю (наличие нулевых или кратных полюсов не усложняет и не упрощает задачи сведения ШИС к АИС).

Для случая простых полюсов

$$C'_{v\mu} = C'_v = \frac{1}{T} \left| W(q)(q - q_v) \right|_{q=q_v},$$

$$\omega(n-m-1, 1-\bar{\tau}) = \sum_{v=1}^s C'_v \exp \left[q_v(n-m-\bar{\tau}) \right]. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (2), получим

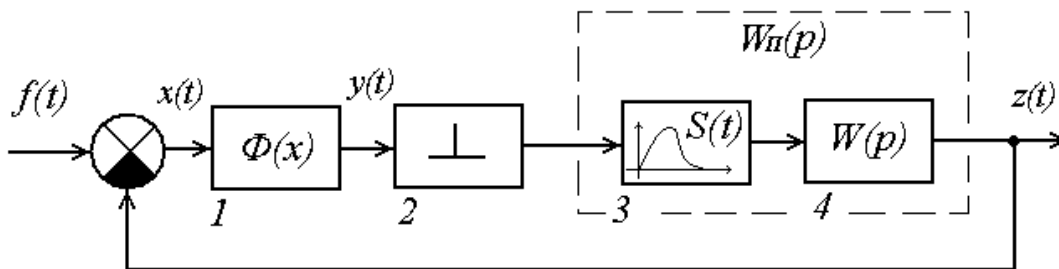


Рис. 1. Структурная схема нелинейной АИС: $f(t)$, $z(t)$ – соответственно входной и выходной сигналы; $w(t)$ – импульсная характеристика непрерывной (линейной) части ШИС; γ – длительность импульса; $x(t)$ – сигнал ошибки; $y(t)$ – нелинейное преобразование $x(t)$; 1 – нелинейные безынерционные преобразователи тракта; 2 – генератор тактовых δ -функций, модулированных по амплитуде сигналом $y(t)$; 3 – генератор импульсов формы $s(t)$; 4 – линейная часть тракта.

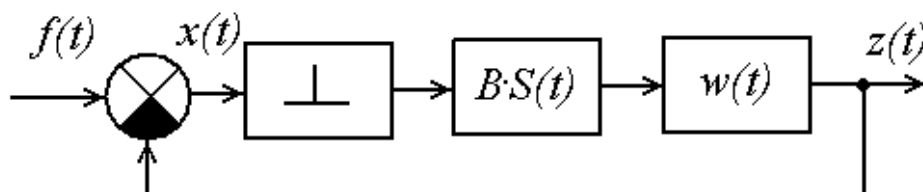


Рис. 2. Упрощенная структурная схема ШИС

$$\begin{aligned}
 x(n, 0) &= f(n, 0) - \\
 &- BT \sum_{m=0}^{n-1} \sum_{v=1}^S \left[\int_{\varphi_1(x)}^{\varphi_2(x)} \exp \left[-q_v \bar{\tau} \right] d\bar{\tau} \right] \times \\
 &\times C'_v \exp \left[q_v (n-m) \right] = \\
 &= f(n, 0) - BT \sum_{m=0}^{n-1} \left\{ \sum_{v=1}^S \Phi_v [x(m, 0)] w_{\Pi v} (n-m) \right\} \dots, \quad (7)
 \end{aligned}$$

где

$$\Phi_v [x(m, 0)] = \int_{\varphi_1[x(m, 0)]}^{\varphi_2[x(m, 0)]} \exp \left[-q_v \bar{\tau} \right] d\bar{\tau} \dots; \quad (8)$$

$$w_{\Pi v} = C'_v \exp \left[q_v (n-m) \right]. \quad (9)$$

Сравнивая (7) и (1), можно сделать вывод, что ШИС сводится к эквивалентной многомерной нелинейной АИС, а число параллельных ветвей эквивалентной АИС равно числу корней характеристического уравнения.

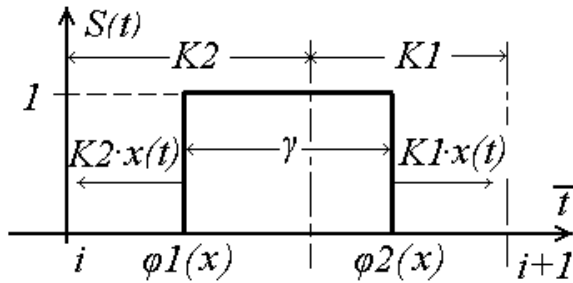


Рис. 3. Формирующий элемент ШИС

Анализ многомерных нелинейных АИС позволяет определить в общем виде лишь абсолютную устойчивость системы, причем приемлемые для практики результаты удастся получить лишь для двумерных систем или для систем, сводящихся к двумерным при анализе устойчивости [3].

В связи с этим при анализе устойчивости ШИС прибегают к приближенным методам, позволяющим снизить порядок эквивалентной АИС. Например, в [4] предлагается представить $\Phi_v(x)$ степенным полиномом вида

$$\Phi_v(x) = \sum_{k=1}^N r_k^{(v)} x^k. \quad (10)$$

В этом случае (7) принимает вид

$$\begin{aligned}
 x(n, 0) &= f(n, 0) - \\
 &- BT \sum_{m=0}^{n-1} \sum_{v=1}^S \sum_{k=1}^N C'_v \exp \left[q_v (n-m) \right] x^k(m, 0) = \\
 &= f(n, 0) - BT \sum_{m=0}^{n-1} \sum_{k=1}^N x^k(m, 0) \bar{\omega}'_{\Pi k} (n-m), \quad (11)
 \end{aligned}$$

где

$$\bar{\omega}'_{\Pi v} (n-m) = \sum_{v=1}^N r_k^{(v)} C'_v \exp \left[q_v (n-m) \right]. \quad (12)$$

Сопоставляя (7) и (11), нетрудно заметить, что в (11) число ветвей определяется числом членов полинома (10), из которых одна ветвь — линейная.

Если эквивалентная нелинейность $\Phi_v(x)$ относительно мала, то в полиноме (10) можно оставить лишь два-три слагаемых. При этом эквивалентная АИС будет двух- или трехмерной даже в случае высоких порядков линейной части ШИС.

Если

$$\Phi_v(x) = r_1^{(v)} \cdot x + r_2^{(v)} \cdot x^2,$$

то, как показано в [4], структурная схема ШИС может быть сведена к одномерной нелинейной АИС.

Такой метод приближенного анализа устойчивости особенно эффективен, когда нелинейность эквивалентной АИС выражена слабо.

Анализ устойчивости ШИС методом искусственного понижения порядка её линейной части. В основу этого метода анализа положен способ приближенного расчета переходных процессов в сложных линейных цепях, предложенный и детально исследованный Я. С. Иццоки [5]. Его суть заключается в следующем.

Порядок исходного дифференциального уравнения линейной части системы искусственно понижается (дифференциальное уравнение укорачивается), а в описание системы вводится эквивалентное запаздывание (в некоторых случаях возможно и незапаздывающее решение). Параметры укороченного уравнения подбираются таким образом, чтобы крутизна нарастания переходной функции $h(t)$ в междетильном пространстве (МП) и амплитуда колебательного процесса (если он есть) соответствовали исходной $h(t)$ (рис. 4).

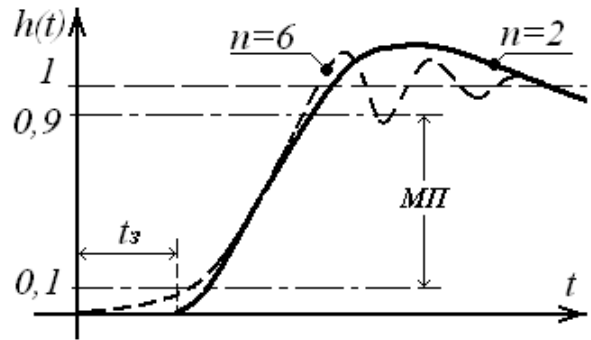


Рис. 4. Аппроксимация переходной характеристики

Такой способ может быть весьма эффективен даже при понижении сложных линейных цепей высокого порядка до первого-второго порядка.

Для решения задачи приближенного описания линейной части ШИС ее передаточную функцию следует привести к нормированному виду:

$$W(p) = \frac{1 + g_1 p + g_2 p^2 + \dots + g_n p^n}{1 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_k p^k},$$

где по крайней мере $n < k-1$ (при $n > k-1$ аппроксимация запаздывающей функцией не существует).

Искомая аппроксимация $W(p)$ порядка m отыскивается в виде

$$W_m(p) = \frac{\exp[-pt_{3m}]}{1 + b'_1 p + b'_2 p^2 + \dots + b'_m p^m}, \quad (12)$$

где t_{3m} определяется решением следующего уравнения:

$$\frac{t_{3m}^{m+1}}{(m+1)!} - \frac{t_{3m}^m}{m!} + \dots + (-1)^{m+1} \cdot \Delta_{m+1} = 0.$$

Здесь

$$\Delta_1 = a_1 - g_1,$$

$$\Delta_2 = a_2 - g_2 - a_1 \cdot g_1,$$

$$\Delta_3 = a_3 - g_3 - a_2 \cdot g_2 - a_2 \cdot g_1.$$

Заметим, что необходимое значение задержки t_3 соответствует одному и притом наименьшему вещественному (всегда положительному) корню $t_3 = t_{3m}$. Отыскать это значение непросто даже при $m = 3$.

Остальные параметры аппроксимации в (12) определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} b'_1 &= \Delta_1 - t_{3m}, \\ b'_2 &= \Delta_2 - \Delta_1 \cdot t_{3m} + \frac{t_{3m}^2}{2!}, \\ b'_m &= \Delta m - \frac{\Delta_{m-1}}{1!} + \frac{\Delta_{m-2} \cdot t_{3m}^2}{2!} - \dots + (-1)^m \frac{t_{3m}^m}{m!}. \end{aligned}$$

Для аппроксимации того или иного порядка имеются определенные условия существования.

Так, приближение порядка $m = 0$ существует всегда.

Приближение $m = 1$ ограничено условием $\frac{\Delta_2}{\Delta_1^2} < \frac{1}{2}$.

В случае $m = 2$ возможны два варианта:

– приближения $m = 1$ не существует, т. е. $\Delta_2 \geq 0,5\Delta_1^2$. Тогда условие существования приближения $m = 2$ имеет вид

$$\frac{\Delta_3}{\Delta_1^3} < \frac{\Delta_2}{\Delta_1^2} - \frac{1}{3};$$

– приближение $m = 1$ существует, но точность приближения недостаточна. Тогда условие существования приближения $m = 2$ принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{\Delta_3}{\Delta_1^3} &< -\frac{1}{3} + \frac{1}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{2\Delta_2}{\Delta_1^2}\right)^3} \approx \\ &\approx \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1^2}\right)^2 \left[1 + \frac{\Delta_2}{3\Delta_1} + \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1^2}\right)^2 + \dots\right]. \end{aligned}$$

В связи с тем что повышение порядка аппроксимации резко усложняет задачу отыскания приближенного решения и анализа устойчивости ШИС, по-видимому, не следует использовать $m > 2$.

Предположим, что в результате применения рассмотренного выше метода аппроксимации определена передаточная функция линейной части ШИС в виде приближения первого порядка ($m = 1$):

$$W_1(p) = \frac{\exp[-pt_{31}]}{1 + b'_1 p} = \frac{1}{b'_1} \frac{\exp[-pt_{31}]}{p + \frac{1}{b'_1}}.$$

Соответствующая решетчатая (дискретная) импульсная характеристика на основании (6) примет вид

$$\begin{aligned} w(n-m-k, k - \bar{\tau} - \bar{t}_1) &= \\ &= \frac{1}{b'_1} \exp\left[-\frac{1}{b'_1}(n-m-k)\right] \exp\left[-\frac{1}{b'_1}(k - \bar{\tau} - \bar{t}_1)\right], \end{aligned}$$

где $\bar{t}_1 = \frac{t_{31}}{T}$; $b'_1 = \frac{b'_1}{T}$; k выбирается таким, чтобы дискретное время $k - \bar{\tau} - \bar{t}_1 > 0$.

Приведенная импульсная характеристика в соответствии с (9) может быть записана в виде

$$w_{n1} = \frac{1}{b'_1} \exp\left[-\frac{1}{b'_1}(n-m-1)\right] \exp\left[-\frac{1}{b'_1}(1-\bar{t}_1)\right]. \quad (13)$$

Нелинейность эквивалентной АИС найдем согласно (8):

$$\begin{aligned} \Phi_1[X(m, 0)] &= \int_{K_2(1-X)}^{K_2+K_1X} \exp\left[\frac{1}{b_1}\bar{\tau}\right] d\bar{\tau} = \\ &= b_1 \left[\exp\left[\frac{1}{b_1}(K_2 + K_1X)\right] - \exp\left[\frac{K_2}{b_1}(1-X)\right] \right] \dots, \quad (14) \end{aligned}$$

где X – нормированный сигнал, изменяющийся в пределах $0 < X < 1$. С учетом (4) выражение (14) можно переписать следующим образом:

$$\Phi_1(X) = 2b_1 \exp\left[\frac{1}{2b_1}(1-A)\right] \exp\left[\frac{AX}{2b_1}\right] \operatorname{sh} \frac{X}{2b_1}. \quad (15)$$

Графики этой зависимости для частного случая $b_1 = 0,5$ показывают, что, как и следовало ожидать, при несимметричных видах ШИМ ($A = \pm 1$) нелинейность $\Phi_1(x)$ выражена значительно сильнее, чем при $A = 0$ (рис. 5).

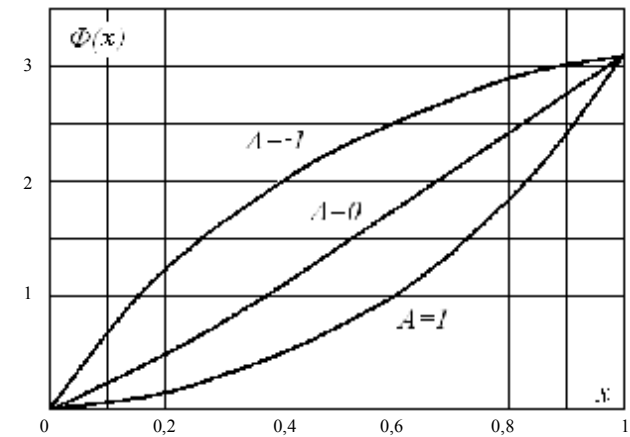


Рис. 5. Нелинейные характеристики ШИС

Передаточную функцию приведенной линейной части найдем дискретным преобразованием Лапласа от (13):

$$W_n^*(q, 0) = \frac{1}{b'_1} \frac{\exp\left[-\frac{1}{b'_1}(1-\bar{t}_1)\right]}{\exp[q] - \exp\left[-\frac{1}{b'_1}\right]}.$$

Заменив в этом выражении q на $j\bar{\omega}$ ($\bar{\omega} = \omega T$), получим амплитудно-фазовую характеристику приведенной линейной части ШИС. Используя эту характеристику, можно оценить устойчивость ШИС с помощью одного из известных критериев, например критерия абсолютной устойчивости положения равновесия [2]:

$$\frac{1}{\sigma} + \operatorname{Re} \left[\frac{B}{b'_1} \frac{\exp\left[-\frac{1}{b'_1}(1-\bar{t}_1)\right]}{\exp[j\bar{\omega}] - \exp\left[-\frac{1}{b'_1}\right]} \right] > 0,$$

где $\sigma = \left| \frac{\partial \Phi_1(x)}{\partial x} \right|_{\max}$ – максимальное дифференциальное значение коэффициента передачи эквивалентного нелинейного элемента; B – коэффициент линейного усиления в импульсном тракте ШИС.

Таким образом, метод приближенного расчета переходных процессов, предложенный Я. С. Ицхоки [5], по-

звolyет существенно упростить задачу анализа устойчивости широтно-импульсной системы даже в случае высокого порядка ее линейной части.

Библиографические ссылки

1. Цыпкин Я. З. Теория линейных импульсных систем. М. : Физматгиз, 1963.
2. Цыпкин Я. З., Попков Ю. С. Теория нелинейных импульсных систем. М. : Наука, 1973.

3. Полов К. П. Условия устойчивости усилителя в режиме D с обратной связью // Радиотехника. 1971. № 6.
4. Полов К. П. К исследованию устойчивости усилителя в режиме D с обратной связью // Радиотехника. 1974. № 1.
5. Ицхоки Я. С. Приближенный метод анализа переходных процессов в сложных линейных цепях. М. : Сов. радио, 1969.

A. M. Miheenko, S. S. Abramov, I. I. Pavlov

TO THE ANALYSIS OF PULSE-DURATION SYSTEM WITH A FEEDBACK

Results of research of pulse-duration system (PDS), covered by the chain of a negative feedback are shown. On the basis of symptom-free method of decrease of degree of order of a linear part of a system, the technique of converting PDS to equivalent nonlinear pulse-amplitude system for which the acquainted methods of research are suitable is offered.

Keywords: stability, pulse-duration systems, complex linear chain, nonlinear distortion.

© Михеенко А. М., Абрамов С. С., Павлов И. И., 2010

УДК 621.393.3

Е. В. Малинкин

ИНВАРИАНТНАЯ ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ С ОБРАБОТКОЙ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Предложен способ передачи сигналов с последующей обработкой в частотной области. Для реализации такой обработки разработана структура, основанная на прямом и обратном преобразовании Фурье с элементом деления, позволяющим осуществить деление информационных и обучающих сигналов.

Ключевые слова: помехоустойчивость, инвариант, инвариантная относительная амплитудная модуляция, вероятность попарного перехода, отношение сигнал/шум.

В [1] была предложена относительная амплитудная модуляция (ОАМ). Ее суть заключается в том, что предыдущая посылка служит опорной для последующей, а их отношение на приеме, несмотря на воздействие мультипликативной помехи с коэффициентом передачи канала K , равно отношению этих посылок на передаче. ОАМ позволяет существенно снизить влияние мультипликативной помехи. Однако влияние аддитивной помехи при этом не устраняется.

Автор данной статьи воспользовался идеей ОАМ, но при этом опорные посылки одинаковой величины выделялись им в последовательность одинаковых обучающих сигналов с их дальнейшим усреднением для снижения воздействия аддитивной помехи, а информационные сигналы различной амплитуды выделялись в информационную последовательность. В результате отношение сигналов информационной последовательности к значению усредненных обучающих сигналов также снижало воздействие мультипликативной помехи. Такой способ формирования сигналов на передаче и их демодуляции на

приемной стороне позволяет улучшить помехоустойчивость предложенной структуры как минимум на два порядка по сравнению с классическими системами с ОАМ.

Данная статья посвящена синтезу алгоритма обработки информации инвариантной системой передачи информации в частотной области и анализу полученных технических характеристик.

Постановка задачи. Пусть имеется аналоговый канал связи с полосой пропускания от f_n до f_v , по которому передаются амплитудно-модулированные прямоугольной огибающей сигналы. Последовательности сигналов информационной и обучающей частей объединены в блоки.

Передаваемые сигналы подвергаются действию следующих помех: мультипликативной, описываемой изменением коэффициента передачи канала связи $k(t)$ на определенной частоте, и аддитивной, представляющей собой белый шум с некоррелированными отсчетами и дисперсией s^2 (при моделировании дисперсия принимает значение, равное 1). Помимо этого на принимаемый сиг-

нал воздействуют амплитудно-частотные и фазочастотные искажения канала связи.

Будем считать, что канал связи подвержен гладким общим замираниям и поэтому можно выделить интервалы стационарности свойств канала, в частности интервалы, на которых коэффициент передачи канала связи и амплитуда отсчетов амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) постоянны, т. е. не меняются, а также что длительность передаваемого блока не превышает длительность интервала стационарности.

Для борьбы с аддитивной помехой введено накопление с усреднением обучающих сигналов. Для этого арифметически складываются одноименные отсчеты обучающих сигналов и затем эта сумма делится на количество слагаемых.

Необходимо синтезировать алгоритм обработки сигналов, устойчивый к воздействию комплекса помех (мультипликативной и аддитивной), а также структуру системы передачи информации, позволяющую демодулировать сигналы передачи в соответствии с предложенным алгоритмом с последующим анализом количественных характеристик этой системы.

Синтез алгоритма обработки сигналов. Для решения поставленной задачи потребуются, во-первых, сформировать сигнал передачи (противоположная сторона) и, во-вторых, синтезировать алгоритм обработки на приеме.

Сигнал передачи сформируем блоками (рис. 1). Каждый блок будет состоять из обучающего сигнала (пилот-сигнала) и информационного сигнала. Сигнал обучения будет одинаковым на всех последующих блоках. Для простоты формирования обучающий сигнал $S_{об}(nT)$ представим в виде отсчетов равной амплитуды. В соответствии с законами цифровой обработки сигналов обучающему сигналу $S_{об}(kT)$ соответствует энергетический спектр $S_{об}(jk)$.

Энергетический спектр информационного сигнала определим как

$$S_{инф}(jk) = S_{об}(jk) S_{мод}(jk), \quad (1)$$

где $S_{об}(jk)$ – энергетический спектр сигнала обучения; $S_{мод}(jk)$ – энергетический спектр сигнала передачи. Таким образом, энергетический спектр сигнала передачи на входе блока ОБПФ будет иметь вид

$$\begin{aligned} & [S_{об}(jk), S_{инф}(jk)]_1; \\ & [S_{об}(jk), S_{инф}(jk)]_2; \dots; \\ & [S_{об}(jk), S_{инф}(jk)]_i; \dots \end{aligned}$$

В блоке ОБПФ производится преобразование отсчетов энергетических спектров в отсчеты сигнала передачи $S_{инф}(nT)$, а затем в модуляторе с помощью АМ-модуляции происходит модуляция информационного сигнала.

Первыми за время $T_{об}$ передаются радиоимпульсы одинаковой амплитуды, представляющие собой сигналы обучающей последовательности. Значения амплитуд отсчетов обучающих сигналов на выходе канала связи впоследствии запоминаются в элементе памяти и служат для демодуляции совместно со значениями амплитуд отсчетов информационных сигналов. Кроме того, значения амплитуд отсчетов сигналов обучающей последовательности на выходе канала связи используются и при определении коэффициента передачи канала связи. Затем за время $T_{инф}$ передается последовательность радиоимпульсов различной амплитуды, представляющая собой последовательность информационных сигналов. Их количество равно количеству обучающих сигналов, а время передачи информационной последовательности равно времени передачи обучающей последовательности, и поэтому $T_{инф} = T_{об}$. В дальнейшем вновь следует передача обучающей последовательности, а за ней информационной и так далее до конца передачи всего блока.

После приема обучающих сигналов значения амплитуд отсчетов обучающих сигналов в элементе памяти арифметически складываются и усредняются по количеству слагаемых для борьбы с аддитивной помехой, что повышает помехоустойчивость всей системы передачи информации.

Отсчеты информационной и обучающей последовательности сигналов и их энергетические спектры характеризуются следующими особенностями (рис. 2). Следует отметить, что амплитуды отсчетов обучающего сигнала во временной области на входе канала связи равны между собой, как и значения амплитуд отсчетов энергетических спектров обучающих сигналов, а амплитуды отсчетов сигналов информационной последовательности на входе канала связи отличаются своей величиной во временной области и имеют различные значения амплитуд отсчетов энергетических спектров сигналов. Совокупности N отсчетов информационной части во временной области соответствует N отсчетов его энергетического спектра. Аналогично совокупности N отсчетов обучающего сигнала во временной области соответствует N отсчетов его энергетического спектра.

Тогда энергетический спектр для сигнала информационной последовательности i -го блока может быть представлен в виде

$$S_{i\text{вых}}(jk) = S_{i\text{вх}}(jk) \cdot k_i(jk) \cdot H_i(jk) + N_{i\text{ш}}(jk), \quad (2)$$

где k – номер гармоники; $S_{i\text{вых}}(jk)$ – энергетический спектр сигнала на выходе канала связи на i -м блоке; $S_{i\text{вх}}(jk)$ – энергетический спектр сигнала на входе канала связи на i -м блоке; $k_i(jk)$ – энергетический спектр мультипликативной помехи на i -м блоке; $H_i(jk)$ – передаточная харак-

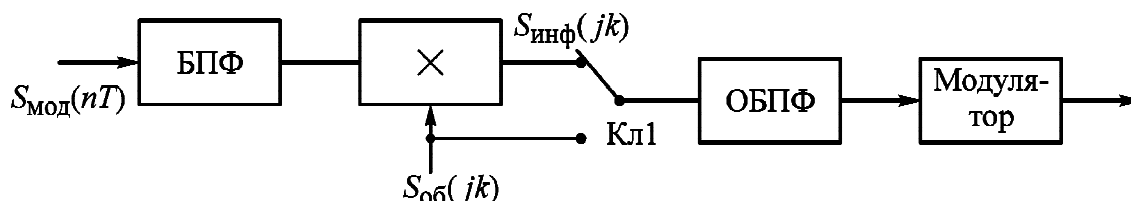


Рис. 1. Структура передающего устройства:

БПФ – быстрое преобразование Фурье; ОБПФ – обратное преобразование Фурье

теристика канала на i -м блоке обработки; $N_{1i}(jk)$ – спектральная плотность мощности аддитивного шума сигнала информационной последовательности на i -м блоке обработки.

Энергетический спектр для сигнала обучающей последовательности i -го блока находится аналогично:

$$S_{\text{об.вых}}(jk) = S_{\text{об.вх}}(jk) \times k_i(jk) \cdot H_i(jk) + N_{2i}(jk), \quad (3)$$

где $S_{\text{об.вых}}(jk)$ – энергетический спектр обучающего сигнала на выходе канала связи; $S_{\text{об.вх}}(jk)$ – энергетический спектр обучающего сигнала на входе канала связи; $N_{2i}(jk)$ – спектральная плотность мощности аддитивного шума сигнала обучающей последовательности на i -м блоке обработки.

Следует заметить, что после усреднения сигналов обучения значения амплитуд отсчетов $N_{2i}(jk)$ будут много меньше значений амплитуд отсчетов $N_{1i}(jk)$ за счет эффекта накопления с усреднением. Значения амплитуд отсчетов $N_{1i}(jk)$ больше, чем значения амплитуд отсчетов $N_{2i}(jk)$ в 1 000 раз, т. е. $N_{1i}(jk) = 1\,000 N_{2i}(jk)$, при количестве усреднений, равном 1 000 [5].

Как было отмечено ранее, модулирующий параметр на передаче модулирует отношение энергетических спектров информационной и обучающей частей. Тогда для демодуляции сигналов приема необходимо разделить энергетический спектр информационной части на энергетический спектр обучающей части. В результате получим:

$$S_{\text{мод.вых}}(jk) = \frac{S_{\text{ивых}}(jk)}{S_{\text{об.вых}}(jk)} = \frac{S_{\text{ивх}}(jk) \cdot k_i(jk) \cdot H_i(jk) + N_{1i}(jk)}{S_{\text{об.вх}}(jk) \cdot k_i(jk) \cdot H_i(jk) + N_{2i}(jk)}. \quad (4)$$

В силу того что значения амплитуд отсчетов энергетического спектра аддитивного шума в обучающей последовательности существенно меньше значений амплитуд отсчетов энергетического спектра аддитивного шума информационной последовательности, то величиной $N_{2i}(jk)$ в выражении (4) можно пренебречь [3]. Тогда выражение (4) после элементарных преобразований сводится к виду

$$S_{\text{мод.вых}}(jk) = S_{\text{ивых}}(jk) + \frac{N_{1i}(jk)}{S_{\text{об.вх}}(jk) \cdot k_i(jk) \cdot H_i(jk)}, \quad (5)$$

где $S_{\text{мод.вых}}(jk)$ – энергетический спектр модулирующей последовательности на выходе канала связи на i -м блоке; $S_{\text{мод.вх}}(jk)$ – энергетический спектр модулирующей последовательности на входе канала связи на i -м блоке.

По теореме Парсеваля, энергия сигнала, вычисленная во временной области, равна энергии сигнала, вычисленной в частотной области. Поэтому отношение энергии информационного сигнала к энергии обучающего сигнала сохраняется как во временной, так и в частотной области. Следовательно, результаты обработки во

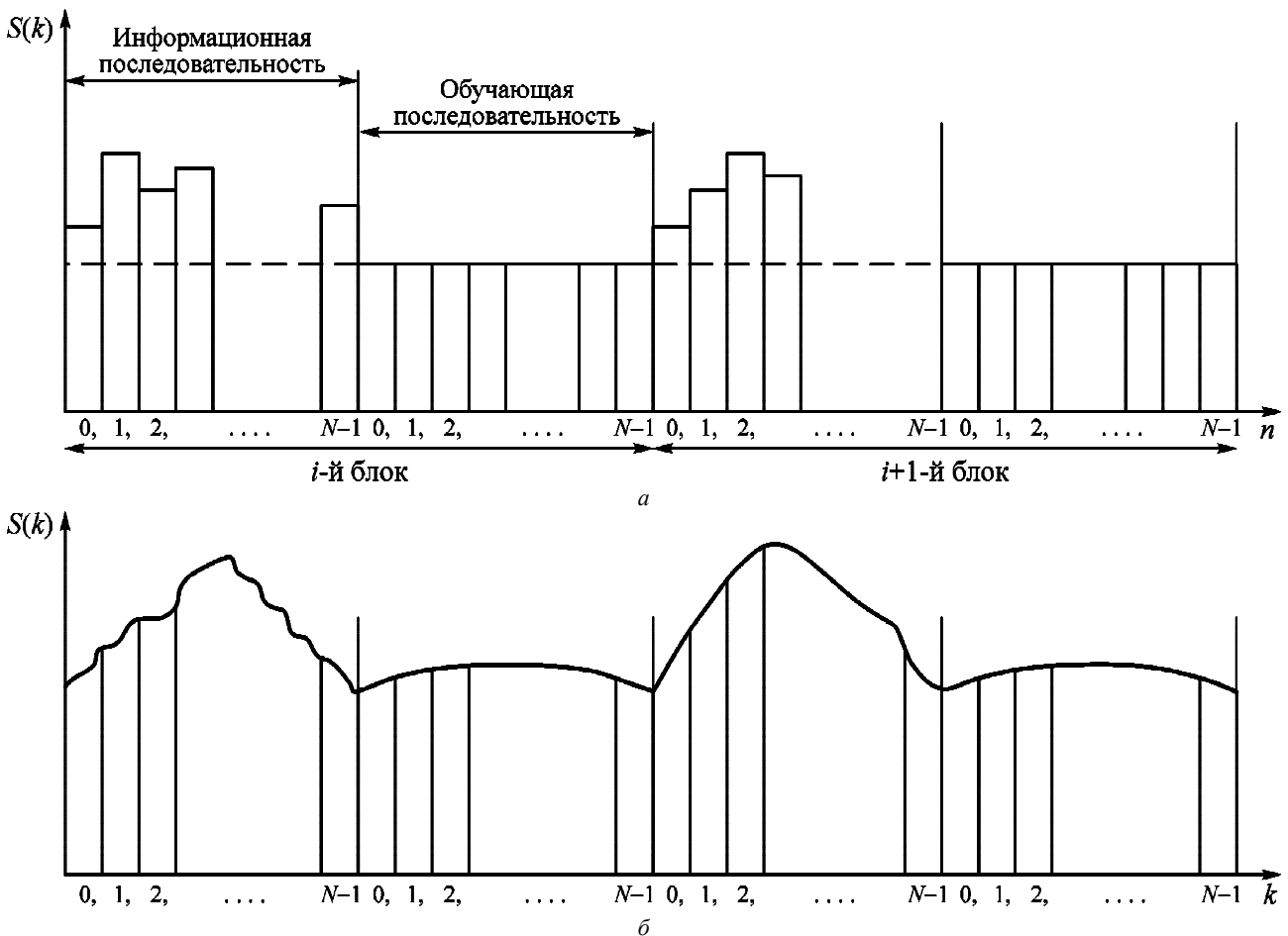


Рис. 2. Информационные и обучающие последовательности сигналов (а) и их энергетические спектры (б)

временной и частотной области дают одинаковый результат, в связи с чем оценку помехоустойчивости произведем во временной области. Для этого обратимся к рис. 3, показывающему принцип такой обработки сигналов.

В точке *a* информационные и обучающие сигналы представлены в виде отсчетов во временной области. На выходе БПФ (точка *б*) сигнал представлен отсчетами энергетического спектра, в точке *в* – отсчетами энергетического спектра информационной части, в точке *г* – отсчетами энергетического спектра обучающей части, в точке *д* – отсчетами энергетического спектра модулирующей последовательности совместно с отсчетами энергетического спектра аддитивного шума, величина которого оценивается по формуле (5). В точке *е* сигнал представлен отсчетами модулирующей последовательности во временной области.

Для расчета вероятности ошибочного приема во временной области введем понятие инварианта.

С учетом используемой относительной амплитудной модуляции оценку значения инварианта можно найти следующим образом [2]:

$$\widehat{INV}_i = \frac{\sum_{i=1}^N INV_i \cdot S_{об}}{\sum_{j=1}^N S_{об}} = \frac{N \cdot INV_i \cdot S_{об}}{N \cdot S_{об}}.$$

Будем оценивать вероятность перебора инвариантов, выбрав первым в паре самый наименьший по значению инвариант – $INV_1 = 1$, а в качестве второго инварианта перебирая значения от 2 до 6. При переходе одного инварианта в другой происходит ошибочный прием, когда вместо первого инварианта в паре сравниваемых принимается второй с определенной вероятностью и, наоборот, вместо второго инварианта в паре сравниваемых инвариантов принимается первый с той же вероятностью.

Произведем расчет вероятности ошибочного приема. Для этого воспользуемся известным подходом [2]:

$$P_{пер} = P_1 \int_{-\infty}^{z_p} W_2(z) dz + P_2 \int_{z_p}^{\infty} W_1(z) dz, \quad (6)$$

где $P_{пер}$ – вероятность перехода первого инварианта во второй и наоборот; P_1 – вероятность появления первого инварианта; P_2 – вероятность появления второго инварианта; первый интеграл – это вероятность появления второго инварианта, когда послан первый; второй интеграл – вероятность появления первого инварианта, когда послан второй; z_p – пороговое значение, необходимое для вычисления $P_{пер}$, при известных P_1 и P_2 .

Величина z_p определяется с помощью наилучшей байесовской оценки путем минимизации $P_{пер}$ по z_p . Полагая, что появление первого и второго инвариантов равновероятно и поэтому выбираем $P_1 = P_2 = 0,5$.

Для дальнейших вычислений, исходя из выражения (6), необходимо знать аналитические выражения для $W_1(z)$ и $W_2(z)$.

Для когерентного приема с синусоидальной поднесущей расчет функции $W_1(z)$ и $W_2(z)$ известен и приведен в [2].

В нашем случае прямоугольная огибающая сигнала выделяется с помощью синхронного детектора, а значит, помеха имеет нормальное распределение [4]. Поэтому мы можем использовать тот же подход для нахождения аналитического выражения плотности вероятности оценки инварианта [2].

Итак, величина оценки инварианта в рассматриваемой нами системе определяется по выражению

$$INV_i^* = \frac{\sum_{i=1}^N (k \cdot INV_i + \xi(i))}{\frac{1}{L} \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^N (k S_{об} + \eta(m, j))} \cdot S_{об}, \quad (7)$$

где в числителе INV_i – первый передаваемый инвариант, $\xi(i)$ – i -е значение гауссовой помехи; в знаменателе $S_{об}$ – значение обучающего сигнала, $\eta(m, j)$ – j -е значение гауссовой помехи в m -й реализации сигнала $S_{об}$, k – коэффициент передачи канала связи, N – число отсчетов, взятых по огибающей INV_i или $S_{об}$, L – число обучающих сигналов.

Для расчета $P_{пер}$ необходимо знать математическое ожидание и дисперсию числителя и знаменателя выражения (7). Для их расчета воспользуемся следующими выражениями:

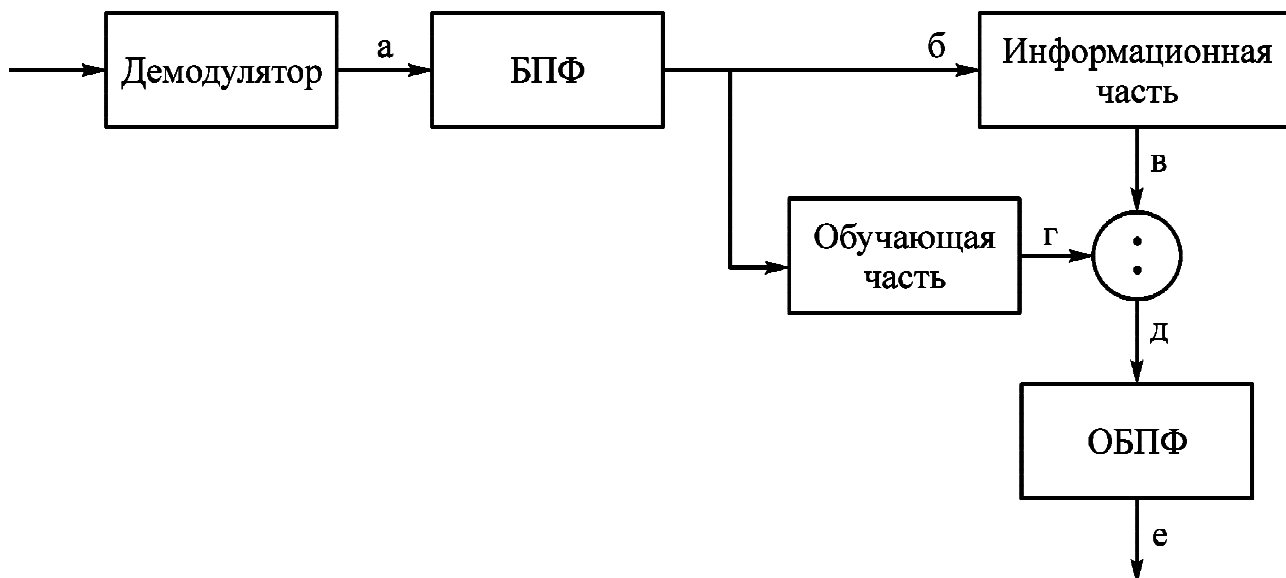


Рис. 3. Структурная схема инвариантной системы передачи информации

– математическое ожидание числителя (7)

$$m_{\text{числ}} = k \cdot N \cdot \text{INV}_p; \quad (8)$$

– дисперсия числителя (7)

$$D_{\text{числ}} = N \cdot \sigma^2, \quad (9)$$

где σ^2 – дисперсия гауссовой помехи;

– математическое ожидание знаменателя (7) после преобразований

$$m_{\text{знам}} = k \cdot N; \quad (10)$$

– дисперсия знаменателя (7) после преобразований

$$D_{\text{знам}} = \frac{N}{L S_{\text{об}}^2} \sigma^2. \quad (11)$$

Тогда выражение для плотности вероятности оценки инварианта с учетом (8)–(11) будет иметь вид [2]:

$$W(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \times e^{-\frac{(zx - kN \text{INV}_l)^2}{2N\sigma_1^2}} e^{-\frac{LS_{\text{об}}^2(x - kN)^2}{2N\sigma_2^2}} |x| dx, \quad (12)$$

где $\sigma_1 = \sqrt{D_{\text{числ}}}$; $\sigma_2 = \sqrt{D_{\text{знам}}}$; L – количество сигналов обработки.

Расчет $P_{\text{пер}}$ проводился численно аппроксимацией формулы (12). Предложенная система сравнивалась с классической когерентной системой. Вероятность попарного перехода вычислялась в обоих случаях для одинаковых значений h -отношения сигнал/шум по формуле

$$h^2 = \frac{\sum_{i=1}^N k^2 \text{INV}_{li}^2 \Delta t}{N \Delta t \sigma^2} = \frac{k^2 \text{INV}_l^2}{\sigma^2}.$$

Пороговые значения Z_p рассчитывались путем минимизации $P_{\text{пер}}$ в формуле (6). Для $k = 1$ и $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_2 = 2, 3, 4, 5, 6$ вычисления дают результат $Z_p = 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5$. Для $k = 0,7$ и $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_2 = 2, 3, 4, 5, 6$ получены значения $Z_p = 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5$.

Результаты моделирования приведены ниже (рис. 4, 5).

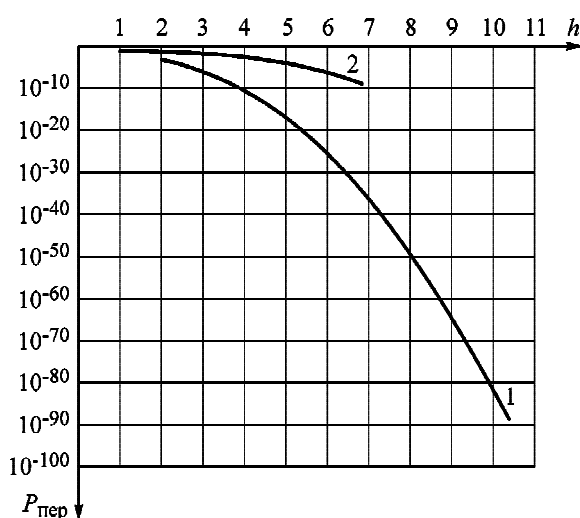


Рис. 4. Вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при следующих заданных условиях: $k = 1$; $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_2 = 2, 3, \dots, 10$; кривая 1 – когерентный прием, инвариантная относительная амплитудная модуляция, прямоугольная огибающая; кривая 2 – классическая относительная амплитудная модуляция

Следует отметить, что особенностью любой инвариантной системы, основанной на принципе инвариантности относительности амплитудной модуляции, является то, что по каналу передаются амплитудно-модулированные сигналы, образованные INV_1 и $S_{\text{об}}$. Передача этих сигналов на основе классических алгоритмов обработки информации обеспечивает невысокую помехоустойчивость [4]. И только после обработки этих сигналов в соответствии с алгоритмом частного по выражению (7) будет получена оценка инварианта, являющегося по сути числом, а не сигналом. Вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при больших отношениях сигнал/шум определяется величинами $10^{-30} \dots 10^{-80}$ (см. рис. 4, 5). При тех же значениях отношения сигнал/шум вероятность ошибочного приема единичного символа в классических системах лежит в пределах $10^{-6} \dots 10^{-10}$.

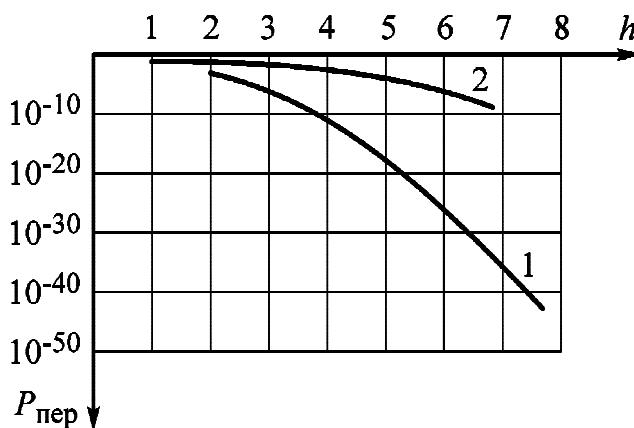


Рис. 5. Вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при следующих заданных условиях: $k = 0,7$; $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_2 = 2, 3, \dots, 10$; кривая 1 – когерентный прием, инвариантная относительная амплитудная модуляция, прямоугольная огибающая; кривая 2 – классическая относительная амплитудная модуляция

По мнению автора, помехоустойчивость исследуемой инвариантной системы необходимо сравнивать с помехоустойчивостью аналогичных инвариантных систем, что и будет сделано в последующих работах.

Таким образом, предложена инвариантная когерентная система передачи информации и определены ее качественные характеристики. Проведенный анализ показывает, что эта система обладает высокой помехоустойчивостью: вероятность попарного перехода в инвариантной системе как минимум на два порядка меньше вероятности ошибки классического алгоритма с относительной амплитудной модуляцией. Поэтому предложенную систему следует использовать в телекоммуникационных системах, системах телеуправления и других системах, предъявляющих высокие требования к помехоустойчивости.

Библиографические ссылки

1. Петрович Н. Т. Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. М. : Сов. радио, 1965.

2. Инвариантный метод анализа телекоммуникационных систем передачи информации : монография / В. Б. Малинкин, Е. И. Алгазин, Д. Н. Левин, В. Н. Попантопуло. Красноярск, 2006.

3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд. М. : Радио и связь, 1989.

4. Теплов Н. Л. Помехоустойчивость систем передачи дискретной информации. М. : Связь, 1964.

E. V. Malinkin

INVARIANT TRANSMISSION OF SIGNALS WITH PROCESSING IN FREQUENT FIELD

The work offers a method of transmission of signals with the subsequent processing in the frequency field. In order to realize such kind of processing, the structure based on direct and inverse Furier transformation with division element that makes it possible to realize the quotient of the current and subsequent processing block is offered.

Keywords: noise immunity, invariant, invariant relative amplitude modulation, probability of pairwise transition, signal/noise relation.

© Малинкин Е. В., 2010

УДК 629.7.05

О. В. Зайцев

МЕТОДИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ СИГНАЛА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Рассмотрены вопросы восстановления уровня несущей частоты телеметрического сигнала при цифровой обработке в тракте автоподстройки частоты и вычисления порога для принятия решения об истинности принятого символа информации, поступающей с космических аппаратов и ракетноносителей. Описаны методика и алгоритм вычисления уровня несущей частоты и значения порога для принятия решения на основе гистограммной обработки сигнала с выхода частотного детектора.

Ключевые слова: система управления, обработка сигналов, телеметрия.

Контроль правильности отработки полетного задания бортовыми системами ракетноносителей (РН) и космических аппаратов (КА) осуществляется на основе обработки телеметрической информации (ТМИ) о состоянии большинства агрегатов и элементов объекта [1]. Для оптимального приема и обработки ТМИ, поступающей на наземные средства приема, необходимо восстановить несущую частоту радиосигнала и вычислить порог принятия решения для достоверного определения принимаемого символа информации (нуля или единицы).

В настоящее время в цифровых трактах приемных устройств для восстановления несущей радиосигнала с частотной манипуляцией чаще всего используются традиционные методы: быстрое преобразование Фурье (БПФ) или линейная фильтрация информационного параметра [2]. Применение БПФ требует большого количества производимых операций для получения необходимого результата и, следовательно, значительно времени для проведения анализа сигнала. А при линейной фильтрации весьма сложно получить несмещенную оценку обрабатываемого параметра. Кроме того, традиционные методы при обработке сигнала на фоне сильных шумов не позволяют достоверно определять несущую радиосигнала [3], что значительно сни-

жает чувствительность цифровых радиоприемных трактов.

Методики и алгоритмы восстановления уровня несущей сигнала, альтернативные БПФ и методу линейной фильтрации, в настоящее время по-прежнему остаются слабо освещенными в отечественной и зарубежной литературе [4–6]. Поэтому разработка методики и алгоритма восстановления несущей радиосигнала на основе гистограммного метода, требующего проведения значительно меньших по сравнению с БПФ вычислительных затрат, является весьма актуальной.

Суть этого метода заключается в следующем. Диапазон возможных уровней сигнала на выходе частотного детектора разбивается на оптимальное число контрольных уровней, или интервалов. Сигнал после частотного детектора подается на блок построения гистограммы уровней. В этом блоке значения амплитуды сигнала сравниваются со значениями контрольных уровней, при этом фиксируется число попаданий значений амплитуды сигнала в интервал $\Delta_k = \frac{A_k - A_{k-1}}{2}$, где A_k и A_{k-1} – значения соседних контрольных уровней. Затем формируется одномерный вектор, т. е. вектор числа попаданий уровня сигнала в интервал « $\Delta(k)$ – гистограмма $H(k)$ ». Параллель-

но формируется вектор аккумуляторов $S(k)$ или вектор суммы уровней сигнала в интервале $\Delta(k)$. По значениям гистограммы уровней сигнала определяются максимумы верхнего и нижнего уровней сигнала. На следующем шаге по значению максимумов $H(k)$ и накопленному (аккумулятивному) значению сигналов $S(k)$ в максимумах вычисляется среднее значение верхнего (или нижнего) значения уровня сигнала.

Рассмотрим сигнал на выходе частотного детектора $A(t)$ типичного двоичного приемника и соответствующую ему гистограмму (см. рисунок). Верхнему A_1 и нижнему A_0 уровням сигнала на гистограмме $H(k)$ соответствуют два максимума. Значения максимумов зависят от количества единичных и нулевых символов в информационной посылке на интервале оценки. При равенстве количества единиц и нулей высота максимумов одинакова. При увеличении уровня шумов максимумы гистограммы сливаются в один, который соответствует распределению среднего уровня сигнала и шумов. Расстояние между максимумами определяется размахом сигнала. Середина расстояния $(A_1 + A_0)/2$ является уровнем несущей, зависящим только от расстройки частоты, и будет оптимальным порогом для решающего устройства, квантующего аналоговый сигнал частотного детектора на два уровня: единицу и нуль. Сигнал $D(t)$ на выходе схемы принятия решения является бинарным образом сигнала $A(t)$.

Количество единиц и нулей в информационной посылке в течение какого-либо периода может сильно различаться. Количественный максимум единиц (нулей), как показано на гистограмме справа, будет определять среднее текущее значение уровня сигнала единицы (нуля). Расстояние между уровнями сигнала гистограммных максимумов делится пополам и принимается за среднее значение уровня восстановленной несущей [6; 7].

Таким образом, методика восстановления уровня несущей гистограммным методом включает следующие этапы:

1) определение интервала, на котором производится оценка уровней сигналов единиц и нулей. Установлено, что наилучший результат получается на интервале, совпадающем по длительности с интервалом накопления

значений сигнала для схемы автоподстройки частоты. Это связано с тем, что уровень сигнала на данном интервале минимально подвержен изменению;

2) подсчет числа попаданий сигнала в контрольные интервалы и аккумулятирование уровней текущего сигнала для каждого столбца гистограммы на интервале обработки;

3) определение максимумов гистограммы и вычисление среднего текущего значения уровня несущей;

4) восстановление принятого сигнала.

Основные характеристики данной методики следующие:

- обеспечение линейной зависимости оценки уровня несущей от расстройки;
- обеспечение несмещенной оценки среднего уровня несущей (ее значение не зависит от количества единиц и нулей в информационном сообщении);
- высокая устойчивость алгоритма восстановления уровня несущей, разработанного на основе этой методики, при высоком уровне шумов.

На основе предложенной методики построен следующий алгоритм.

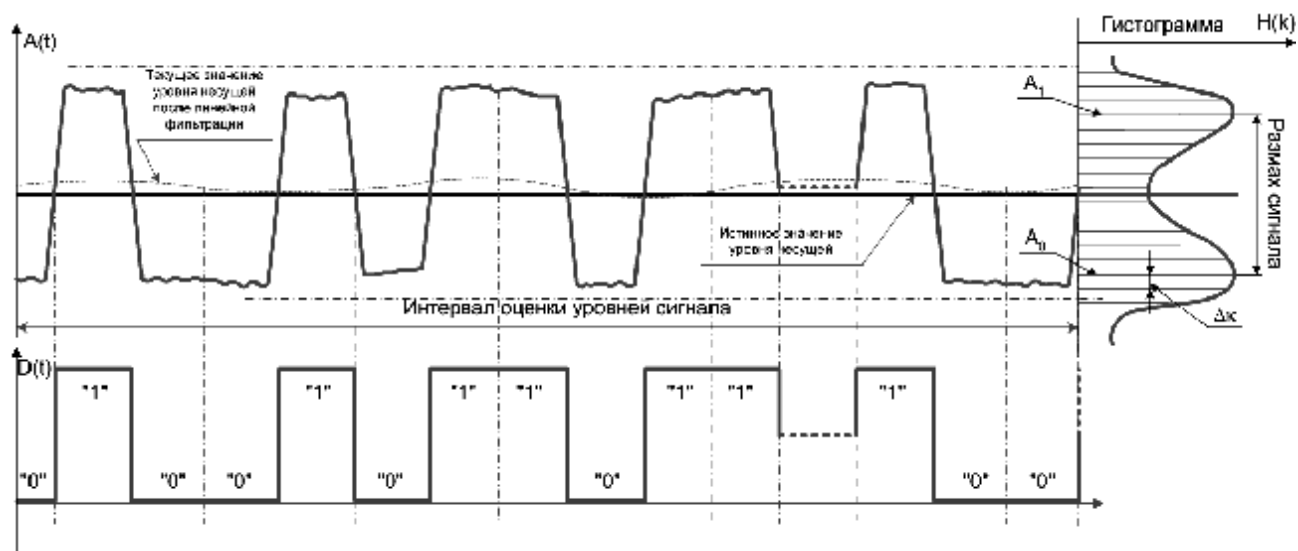
На временном интервале, равном времени $\tau_{\text{АПЧ}}$, строится гистограмма $H(k)$ выходных отсчетов частотного детектора. Количество диапазонов, или столбцов гистограммы k определяется необходимой точностью вычислений и однозначностью нахождения максимумов, соответствующих уровням передаваемых символов.

Параллельно вычисляются суммы $S(k)$ по k диапазонам гистограммы. Далее производятся следующие операции:

1) нахождение максимумов величин $\max_0 = H_{(k=\max_0)}$ и $\max_1 = H_{(k=\max_1)}$, соответствующих уровням нуля и единицы;

2) оценка среднего уровня: $\hat{A}_0 = S_{(\max_0)} / n_{(\max_0)}$ и $\hat{A}_1 = S_{(\max_1)} / n_{(\max_1)}$, где $n_{(\max_0)}$ и $n_{(\max_1)}$ – количество отсчетов соответствующих уровней, и оценка среднего уровня несущей частоты, которая поступает на экстраполятор: $\hat{A}_H = (\hat{A}_0 + \hat{A}_1)/2$.

Введем обозначения: $\hat{A}_H = Y(k)$ – оценка уровня несущей в k -й момент времени; $\hat{A}_H = Y(k+1|k)$ – выходное



Сигнал на выходе частотного детектора и его гистограмма и восстановленный сигнал на выходе схемы принятия решения

значение экстраполятора, которое является оптимальным порогом для схемы принятия решения (эта схема квантует отсчеты частотного детектора на нулевые и единичные символы).

В общем случае экстраполятор описывается уравнением типа

$$Y(k+1|k) = F[Y(k), Y(k-1), \dots, Y(k-(r-1))],$$

где F – некоторая функция от r неизвестных; r – глубина памяти экстраполятора.

В устройстве слежения используются два экстраполятора: линейный по двум точкам ($r=2$) и квадратичный по шести точкам ($r=5$):

$$\begin{aligned} Y_1(k+1|k) &= 2 \cdot Y(k) - Y(k-1), \\ Y_2(k+1|k) &= \\ &= (9 \cdot Y(k) - 4 \cdot Y(k-2) - 3 \cdot Y(k-4) + 3 \cdot Y(k-5)) / 5. \end{aligned}$$

Для совместного предсказания линейной, квадратичной и других зависимостей параметра $Y(k)$ результаты экстраполяторов объединяются:

$$Y_\Sigma(k+1|k) = \sum_j \alpha_j \cdot Y_j(k+1|k),$$

где должно выполняться соотношение $\sum_j \alpha_j = 1$. Суммирование проводится по всем j вариантам экстраполяции. Значения α_j выводятся из минимума ошибки предсказания:

$$\sigma^2[Y_\Sigma(k+1|k)] = \left[\sum_j \alpha_j \cdot Y_j(k+1|k) - Y(k+1) \right]^2.$$

Для линейного и квадратичного экстраполирования

$$Y(k+1|k) = \alpha_1 \cdot Y_1(k+1|k) + \alpha_2 \cdot Y_2(k+1|k),$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[Y_\Sigma(k+1|k)] &= \\ &= [\alpha_1 \cdot Y_1(k+1|k) + \alpha_2 \cdot Y_2(k+1|k) - Y(k+1)]^2. \end{aligned}$$

Минимум этого выражения достигается при значениях коэффициентов

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \sigma^2[Y_2(k+1|k)] / \\ &/ (\sigma^2[Y_1(k+1|k)] + \sigma^2[Y_2(k+1|k)]), \\ \alpha_2 &= \sigma^2[Y_1(k+1|k)] / \\ &/ (\sigma^2[Y_1(k+1|k)] + \sigma^2[Y_2(k+1|k)]). \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} Y_\Sigma(k+1|k) &= \\ &= \frac{\sigma^2[Y_2(k+1|k)] \cdot Y_1(k+1|k) + \sigma^2[Y_1(k+1|k)] \cdot Y_2(k+1|k)}{\sigma^2[Y_1(k+1|k)] + \sigma^2[Y_2(k+1|k)]}. \end{aligned}$$

С использованием доверительного веса выходное значение предсказанного параметра вычисляется по формуле

$$Y_{\text{вых}}(k+1|k) = [1 - W(k)] \cdot Y_\Sigma(k+1|k) + W(k) \cdot Y(k),$$

где доверительный вес нормирован так, что $0 \leq W(k) \leq 1$. Следовательно, если доверительный вес высок, т. е. условия слежения нормальные, то предсказывающее устрой-

ство более полагается на текущее значение параметра $Y(k)$, в противном случае происходит предсказание параметра по тем его значениям, которые он принимал до уменьшения доверительного веса. Экспериментальные данные показали, что характеристики данного метода предсказания аналогичны калмановской фильтрации.

Результаты применения предложенного методического аппарата можно сформулировать следующим образом:

- разработаны методика и алгоритм восстановления среднего значения уровня несущей частотно-манипулированного сигнала гистограммным методом после частотного детектора без использования БПФ или линейной фильтрации информационного параметра, что обеспечивает более высокие быстродействие и помехоустойчивость;

- проведена оценка работоспособности разработанных методики и алгоритма на реальной информации, которая показала значительное сокращение числа проводимых вычислительных операций при восстановлении среднего значения несущей сигнала и устойчивость алгоритма к шумам. Зависимость $\hat{A}_n = (\Delta f)$ от расстройки несущей Δf является линейной;

- оценка уровня несущей сигнала не зависит от количества нулевых и единичных символов в передаваемой информации и не требует введения специальных посылок или маркеров для ее точного определения. Методика и алгоритм позволяют получить несмещенную оценку среднего уровня сигнала после частотного детектора при отклонении несущей частоты.

Таким образом, методика и алгоритм восстановления несущей частоты показали устойчивость, линейность и точность предложенного гистограммного метода оценки уровня несущей частоты и порога для принятия решения о значении принимаемого символа.

Библиографические ссылки

1. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000.
2. Бортовая телеметрическая аппаратура космических летательных аппаратов / С. М. Переверткин, А. В. Кантов, Н. Ф. Бородин, Т. С. Щербакова. М., 1977.
3. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: пер. с фр. В 2 т. М.: Мир, 1983.
4. Макклеллан Дж., Рейдер Ч. Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1983.
5. Свердлик М. Б. Оптимальные дискретные сигналы. М.: Сов. радио, 1975.
6. Радиотехнические системы передачи информации / В. А. Борисов, В. В. Калмыков, Я. М. Ковальчук и др. М.: Радио и связь, 1990.
7. Современная телеметрия в теории и на практике: учеб. курс. СПб.: Наука и техника, 2007.

APPLIED METHOD FOR CARRIER FREQUENCY RESTORATION OF TELEMETRY SYSTEMS SIGNAL BY DIGITAL PROCESSING

The paper considers the issue of restoring the level of the telemetry signal carrier frequency at digital processing in the automatic carrier control tract and the calculation of the threshold for taking the decision about the validity of received symbol of information from the spacecraft and carrier rocket. We describe the applied method and algorithm for calculating the level of the carrier frequency and the level of threshold for taking the decision based on histogram processing of the signal from the output of the frequency detector.

Keywords: control system, signal processing, telemetry.

© Зайцев О. В., 2010

УДК 621.311

И. В. Игнатьев, А. Е. Ковров

АЛГОРИТМ ВЫБОРА НАСТРОЕК АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ В МНОГОМАШИННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Предложен программно реализованный алгоритм согласованного выбора настроек автоматических регуляторов возбуждения. Алгоритм основан на понятии результата и работает применительно к математической модели энергосистемы, сформированной по экспериментальным частотным характеристикам.

Ключевые слова: автоматический регулятор возбуждения, результат, устойчивость.

Обеспечение устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС) и демпфирование колебаний осуществляется автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ), которыми оснащены генераторы электростанций [1].

В настоящее время актуальна задача согласованного выбора коэффициентов стабилизации АРВ по условию обеспечения в многомашиной ЭЭС требуемого качества переходных процессов.

Для решения этой задачи ранее были разработаны алгоритмы [2–4], основанные на методе Д-разбиения. Эти алгоритмы предполагают поочередный для каждой станции выбор настроек АРВ по рассчитанным областям устойчивости. При этом переход от одной станции к другой осуществляется в направлении повышения степени устойчивости системы. Однако в связи со сложностью используемой целевой функции эти алгоритмы не всегда обеспечивают приемлемые демпферные свойства энергосистем с большим числом АРВ.

Другой подход к решению поставленной задачи заключается в использовании алгоритмов, которые основаны на расчете собственных значений матрицы коэффициентов линеаризованных дифференциальных уравнений Горева–Парка [5–7]. Но такие алгоритмы обладают недостатками, затрудняющими оперативное управление многомашиной ЭЭС. Они характеризуются высоким порядком дифференциальных уравнений и требуют значительного объема расчетов, а также допускают усреднение на значительных временных интервалах данных об элементах крупных узлов и подсистем ЭЭС, что часто приводит

к несоответствию формируемой математической модели и текущей режимной ситуации.

В работах [8; 9] было показано, что математическая модель ЭЭС может быть получена в виде характеристического полинома по экспериментальным частотным характеристикам параметров стабилизации. Такой подход позволяет избежать многих допущений и погрешностей моделирования, характерных для описанных выше расчетных методов, а также снизить размерность задачи выбора настроек АРВ, своевременно согласовав их с текущими условиями работы энергосистемы.

Авторами данной статьи предлагается новый алгоритм согласованного выбора настроек АРВ для многомашиных ЭЭС, который позволяет учесть достоинства решений, предложенных в [8; 9], и исключить недостатки разработанных ранее алгоритмов. Программная реализация нового алгоритма проведена в среде MatLab.

Описание алгоритма согласованного выбора настроек АРВ. Разработанный авторами алгоритм основан на понятии результата [10]. *Результантом* называется функция коэффициентов двух многочленов, обращение которой в нуль является условием, необходимым и достаточным для существования общего корня этих многочленов.

В качестве первого многочлена рассмотрим характеристический полином исследуемой энергосистемы

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_{n-1} p + a_n, \quad (1)$$

в коэффициенты которого входят настройки каналов стабилизации АРВ. В общем виде можно записать

$$a_i = a_{i0} + \sum_{j=1}^r a_{ij} k_j + \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^r a_{ijk} k_j k_k + \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^r a_{ijkl} k_j k_k k_l + \dots,$$

где r – количество генераторов, оснащенных АРВ; $k_j, k_p, \dots$ – коэффициенты стабилизации.

Корни полинома (1) с наименьшими по модулю действительными частями определяют степень статической устойчивости анализируемой ЭЭС и называются доминирующими.

Второй многочлен – вспомогательная функция

$$Q(\lambda) = b_0 \lambda^m + b_1 \lambda^{m-1} + b_2 \lambda^{m-2} + \dots + b_{m-1} \lambda + b_m, \quad (2)$$

корни которой выбираются равными требуемым значениям доминирующих корней.

Задача заключается в том, чтобы за счет вариации коэффициентов стабилизации и, следовательно, a_i обеспечить равенство доминирующих корней полинома (1) корням полинома (2). При этом полученные коэффициенты АРВ должны соответствовать значениям настроек, реализуемым на практике.

Рассмотрим этапы работы алгоритма на примере энергосистемы, для улучшения демпферных свойств которой необходимо согласовать настройки АРВ трех эквивалентных генераторов. Будем считать, что все генераторы оснащены микропроцессорными АРВ.

На первом этапе, основываясь на методике, предложенной в работе [8], получим математическую модель исследуемой ЭЭС в виде полинома (1). Для этого вначале выделим в системе контуры регулирования, которые включают каналы стабилизации по изменению частоты напряжения Δf и ее производной f' . Такой подход обусловлен тем, что в АРВ на выделенные каналы возложена функция демпфирования низкочастотных колебаний. Для математического описания этих каналов будем использовать передаточные функции $F_1(p)$, $F_2(p)$ и $F_3(p)$, индексы которых соответствуют порядковым номерам генераторов.

Оставшуюся часть энергосистемы, включая другие каналы АРВ, отразим симметрично относительно выделенных контуров через собственные $W_{11}(p)$, $W_{22}(p)$, $W_{33}(p)$ и взаимные $W_{12}(p)$, $W_{13}(p)$, $W_{21}(p)$, $W_{23}(p)$, $W_{31}(p)$, $W_{32}(p)$ передаточные функции режимных параметров стабилизации (рис. 1).

Далее, используя формулу Мейсона [8], запишем передаточную функцию регулируемой ЭЭС от входа 1 к выходу 2:

$$W_p = \frac{W_{11} + \bar{W}_{12} F_2 + \bar{W}_{13} F_3 + \bar{W}_{123} F_2 F_3}{1 - (W_{11} F_1 + W_{22} F_2 + W_{33} F_3 + \bar{W}_{12} F_1 F_2 + \bar{W}_{13} F_1 F_3 + \bar{W}_{23} F_2 F_3 + \bar{W}_{123} F_1 F_2 F_3)}, \quad (3)$$

где $\bar{W}_{12}$, $\bar{W}_{13}$, $\bar{W}_{23}$, $\bar{W}_{123}$ – симметричные взаимные передаточные функции, которые формируются соответственно минорами и определителем матрицы:

$$\bar{W} = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Отметим, что в выражениях (3) и (4), как и в последующих сложных математических соотношениях, для упрощения записи опущен оператор p .

Авторами данной статьи ранее проводился анализ динамических свойств современных микропроцессорных АРВ, по результатам которого была составлена передаточная функция для выделенных в ЭЭС каналов стабилизации:

$$F(p) = \frac{2p}{(1+2p)} \frac{k_{0f}}{(1+0,2p)} + 0,5p \frac{k_{1f}}{1+0,5p}, \quad (5)$$

где k_{0f} – коэффициент стабилизации по отклонению частоты, $k_{0f} = 0 \dots 1,5$, в относительных единицах напряжения возбуждения/Гц; k_{1f} – коэффициент стабилизации по производной частоты, $k_{1f} = 0 \dots 5$, в относительных единицах напряжения возбуждения/Гц/с.

Приводя формулу (5) к общему знаменателю, запишем передаточную функцию каналов стабилизации для АРВ i -го генератора:

$$F_i(p) = \frac{(p^2 + 2p)k_{0fi} + (0,2p^3 + 1,1p^2 + 0,5p)k_{1fi}}{0,2p^3 + 1,5p^2 + 2,7p + 1} = \frac{f'_i}{f_i}. \quad (6)$$

Подставляя выражение (6) в знаменатель (3), получим характеристический полином исследуемой ЭЭС в общем виде:

$$D(p) = \Delta_n f_1 f_2 f_3 - W'_{11} f'_1 f_2 f_3 - W'_{22} f_1 f'_2 f_3 - W'_{33} f_1 f_2 f'_3 - \bar{W}'_{12} f'_1 f'_2 f_3 - \bar{W}'_{13} f'_1 f_2 f'_3 - \bar{W}'_{23} f_1 f'_2 f'_3 - \bar{W}'_{123} f'_1 f'_2 f'_3, \quad (7)$$

где W'_{ij} , $\bar{W}'_{ij}$, $\bar{W}'_{ijk}$ – числители собственных и взаимных передаточных функций режимных параметров стабилизации; Δ_n – общий знаменатель этих функций.

Для расчета численных значений нулей и полюсов передаточных функций, входящих в формулу (7), авторами в соответствии методикой параметрической идентификации ЭЭС [9] разработана процедура, которая включает следующие шаги:

1) определение с помощью дискретного преобразования Фурье комплексных выборок собственных и взаимных частотных характеристик разомкнутой системы по измеренным в точках 1 и 2 (см. рис. 1) временным характеристикам замкнутой ЭЭС;

2) анализ конфигурации полученных частотных характеристик с целью выявления доминирующих полюсов и нулей, определяющих основные динамические свойства энергосистемы в диапазоне существенных частот;

3) аппроксимация остаточной частотной характеристики сглаживающей дробно-рациональной функции методом наименьших квадратов.

Подставляя в выражение (7) нули и полюсы, найденные на шаге 2, получим многопараметрическую модель анализируемой ЭЭС в виде полинома (1). В результате каждый коэффициент этого полинома будет содержать нелинейную комбинацию искоемых настроек АРВ.

Второй этап работы алгоритма согласованного выбора настроек АРВ включает выполнение двух процедур: расчет корней характеристического полинома и анализ их расположения на комплексной плоскости.

Первая процедура выполняется после подстановки в выражение (1) значений коэффициентов стабилизации, установленных в АРВ каждого генератора.

Вторая процедура позволяет количественно оценить степень устойчивости анализируемой системы для теку-

щей режимной ситуации. Этот показатель определяется модулем действительной части, ближайшей к мнимой оси пары сопряженных комплексных корней полинома (1).

Третий этап работы алгоритма относится к процедуре расчета вспомогательной функции и включает следующие шаги:

1) из всей совокупности корней характеристического полинома, отвечающих электромеханическим составляющим движения системы, выбираются $m = 6$ доминирующих корней. Число m определяется количеством согласуемых коэффициентов стабилизации;

2) исходя из условия обеспечения требуемого качества переходных процессов в ЭЭС, задается желаемое расположение выбранных доминирующих корней на комплексной плоскости, т. е. их действительная и мнимая части;

3) по заданным значениям доминирующих корней рассчитываются коэффициенты b_i функции (2). Таким образом, в рассматриваемом нами случае необходимо найти такие коэффициенты стабилизации, которые обеспечат равенство шести доминирующих корней полинома (1) из общего их количества n корням вспомогательной функции;

4) для решения поставленной задачи по правилу Сильвестра составляется матрица результата, порядок которой равен $m + n$:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & a_0 & a_1 & \dots & a_{n-2} & a_{n-1} & a_n \\ 0 & 0 & \dots & a_0 & a_1 & a_2 & \dots & a_{n-1} & a_n & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_0 & a_1 & \dots & a_{n-2} & a_{n-1} & a_n & \dots & 0 & 0 & 0 \\ b_0 & b_1 & \dots & b_{m-1} & b_m & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_0 & \dots & \dots & b_{m-1} & b_m & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 & b_0 & \dots & \dots & b_m & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & b_0 & \dots & \dots & b_m & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где элементы, расположенные выше a_0 , b_m и ниже b_0 и a_n , равны нулю.

Согласно теореме о результате [10], для существования m общих корней многочленов (1) и (2) необходимо и достаточно выполнение условия

$$R(D, Q) = R_1(D, Q) = R_2(D, Q) = \dots = R_{m-1}(D, Q) = 0,$$

где $R(D, Q)$ – определитель матрицы, которая формируется из матрицы M удалением ее $m - 1$ первых и последних строк и $2m - 2$ последних столбцов; $R_1(D, Q)$, $R_2(D, Q)$, ..., $R_{m-1}(D, Q)$ – определители матриц, которые формируются из предыдущей матрицы поочередной заменой ее последнего столбца каждым из следующих за ним столбцов матрицы M .

Отметим, что указанные в теореме о результате определители представляют собой нелинейные функции, содержащие в качестве переменных коэффициенты стабилизации АРВ.

В соответствии с этой теоремой рассчитаем определители $R(D, Q)$, $R_1(D, Q)$, ..., $R_5(D, Q)$ и запишем систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} R(D, Q) = 0, \\ R_1(D, Q) = 0, \\ R_2(D, Q) = 0, \\ R_3(D, Q) = 0, \\ R_4(D, Q) = 0, \\ R_5(D, Q) = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Численное решение системы уравнений (10) с помощью вычислительных процедур системы MatLab позволяет с заданной точностью найти коэффициенты стабилизации, которые обеспечивают доминирующим корням полинома (1) требуемые значения.

Если в результате расчета полученные настройки АРВ не соответствуют реализуемым на практике значениям, то корни вспомогательной функции изменяются и рас-

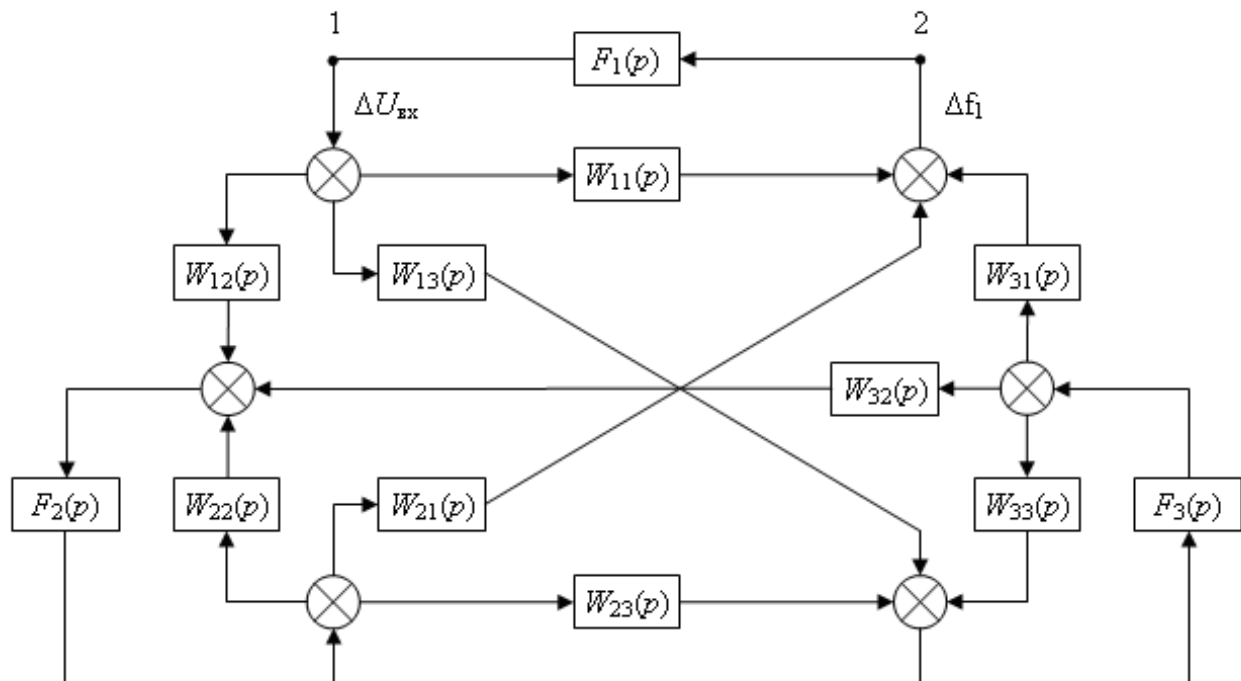


Рис. 1. Трехконтурное структурное представление энергосистемы

чет производится заново, начиная с третьего этапа. В рассматриваемом в данной статье случае изменение корней функции (2) основано на движении двух крайних пар доминирующих корней навстречу друг другу.

Таким образом, решение поставленной задачи может носить итерационный характер, хотя достичь приемлемых значений настроек АРВ удастся, как правило, за несколько итераций.

Пример расчета. Для проверки работоспособности разработанного алгоритма был проведен машинный эксперимент по расчету оптимальных настроек АРВ для генераторов Иркутской энергосистемы.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- сбор данных об элементах Иркутской энергосистемы (параметров линий электропередач, трансформаторов, генераторов, реакторов и устройств управления);
- формирование модели энергосистемы в пакете Simulink;
- проверка адекватности разработанной модели реальной работе энергосистемы;
- расчет типового режима, используемого в Иркутской энергосистеме;

- подача возмущающих воздействий в выбранных точках ЭЭС (см. рис. 1) и запись полученных временных характеристик, отражающих динамические свойства системы;
- выполнение процедур алгоритма согласованного выбора настроек АРВ.

Исследования проводились с помощью пакетов расширений SimPowerSystems и Simulink системы MatLab. Пакет SimPowerSystems использовался для формирования моделей различных устройств ЭЭС: силовой части, систем регулирования, управления и измерения. Пакет Simulink применялся для разработки блоков микропроцессорных АРВ и осуществления имитационного моделирования.

Иркутская энергосистема была представлена эквивалентной моделью (рис. 2), содержащей генераторы Братской, Усть-Илимской и Красноярской ГЭС. Генерация Иркутской ГЭС также была учтена в нагрузке.

При формировании типового режима использовались данные диспетчерских ведомостей по основным системообразующим линиям 500 кВ Иркутской энергосистемы.

Для того чтобы начать моделирование с установившегося режима, производилась инициализация синхрон-

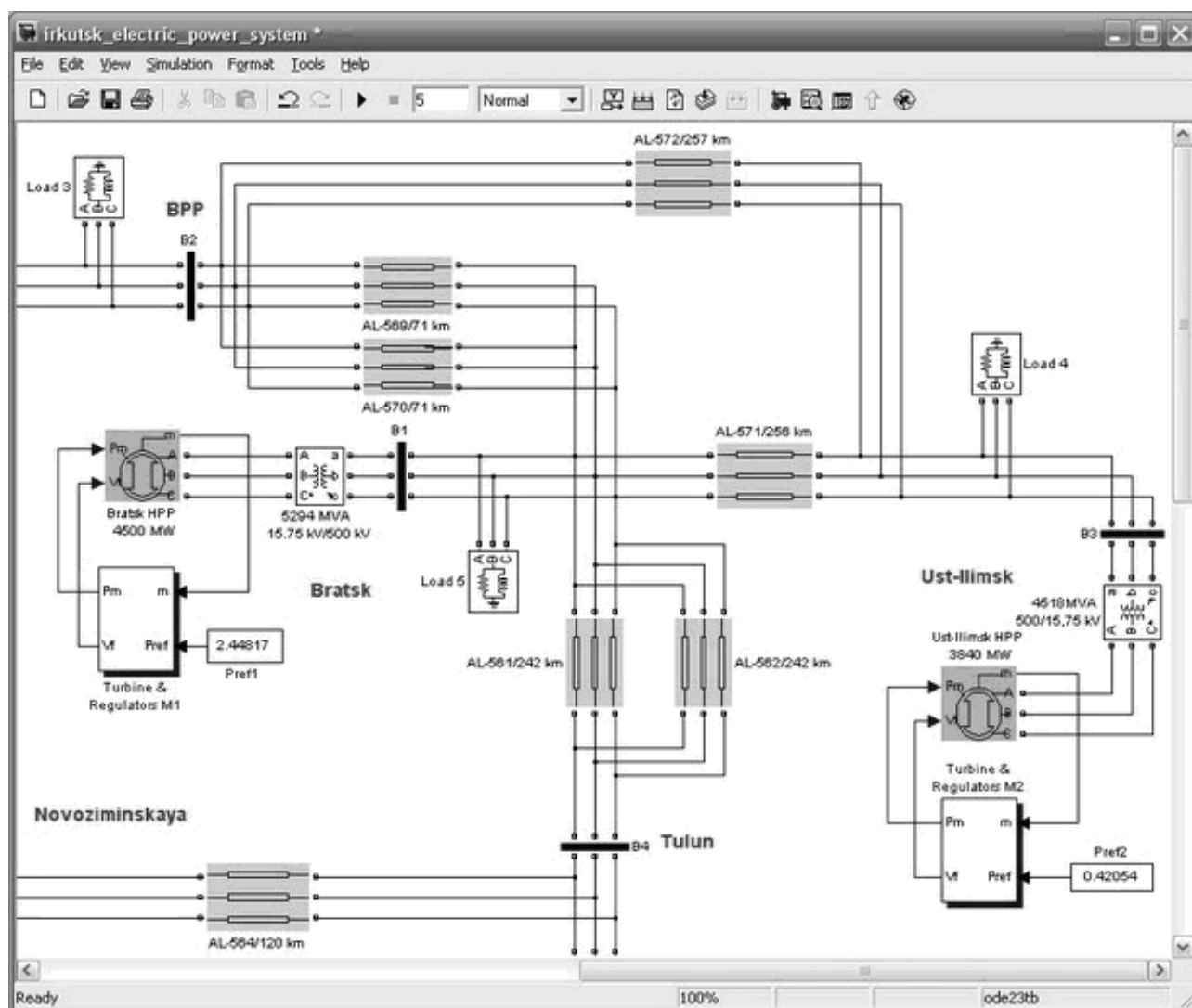


Рис. 2. Фрагмент Иркутской энергосистемы, представленный в пакете Simulink

ных генераторов и АРВ для заданного уровня нагрузки. Инициализация подразумевает установку для эквивалентного генератора Братской ГЭС режима двунаправленной передачи мощности, для Усть-Илимской и Красноярской ГЭС выбран режим выработки заданной активной мощности при поддержании постоянного статорного напряжения.

После подачи возмущающих воздействий и выполнения процедур двух первых этапов алгоритма согласованного выбора настроек АРВ было получено математическое описание ЭЭС в виде полинома (1), порядок которого составил $n = 28$. Результаты расчета доминирующих корней этого полинома при установленных на генераторах настройках АРВ представлены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает, что анализируемая система обладает плохими демпферными свойствами, поскольку пара доминирующих корней с мнимыми частями $\omega = 7,22$ рад/с имеет низкое затухание $\alpha = 0,23$. Для такого режима необходимо изменение настроек АРВ с целью повышения устойчивости ЭЭС. В соответствии с этим в качестве корней вспомогательной функции были заданы значения с действительной частью $\alpha < -0,6$.

В результате выполнения процедур следующих этапов алгоритма были рассчитаны коэффициенты стабилизации, которые обеспечивают доминирующим корням полинома (1) заданное затухание. Результаты расчетов новых настроек АРВ приведены в табл. 2.

Расчеты, проведенные авторами с помощью программного обеспечения REGIM, SBORKA и POISK, разработанного в Санкт-Петербургском государственном техническом университете, полностью подтвердили результаты, приведенные в табл. 2. Это говорит об эффективности работы алгоритма и о возможности его использования для согласованного выбора настроек АРВ по условию обеспечения в ЭЭС требуемого уровня демпфирования переходных процессов.

Таким образом, авторами были получены следующие результаты:

- на основе понятия результата предложен и обоснован алгоритм согласованного выбора настроек АРВ в многомашинных энергосистемах;
- новый алгоритм работает применительно к математической модели, синтезированной по экспериментальным данным;
- на базе машинного эксперимента показано, что предложенный алгоритм позволяет эффективно решать задачу обеспечения требуемого качества переходных процессов в ЭЭС;
- разработанный алгоритм позволяет существенно снизить размерность задачи выбора настроек АРВ и может быть использован в условиях реальной эксплуатации энергосистем для повышения их устойчивости.

Библиографические ссылки

1. Овчаренко Н. И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем : учебник для вузов / под ред. А. Ф. Дьякова. М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
2. Литкенс И. В., Филинская Н. Г. Выбор настроек АРВ в многомашинной энергосистеме // Электричество. 1986. С. 15–19.
3. Зеккель А. С. Оценка качества регулирования и методика настройки стабилизации АРВ генераторов // Электричество. 1988. № 5. С. 15–21.
4. Абдул-Заде В. М., Алиев Д. Г., Гусейнов А. М. Выбор настроек АРВ генераторов по результатам анализа статической устойчивости // Электричество. 1990. № 3. С. 54–58.
5. Симеонова К. Ж., Строев В. А. Вопросы выбора параметров АРВ в сложных электроэнергетических системах // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1987. № 5. С. 61–71.

Таблица 1

Результаты расчета доминирующих корней

Доминирующие корни			Настройки АРВ					
№ корня	Действительная часть	Мнимая часть	Братская ГЭС		Красноярская ГЭС		Усть-Илимская ГЭС	
			k_{0f}	k_{1f}	k_{0f}	k_{1f}	k_{0f}	k_{1f}
1	-0,23	7,22	10	2	15	0	7	5
2	-0,23	-7,22						
3	-0,77	5,35						
4	-0,77	-5,35						
5	-0,97	6,34						
6	-0,97	-6,34						

Таблица 2

Результаты расчета настроек АРВ

Корни вспомогательной функции			Настройки АРВ					
№ корня	Действительная часть	Мнимая часть	Братская ГЭС		Красноярская ГЭС		Усть-Илимская ГЭС	
			k_{0f}	k_{1f}	k_{0f}	k_{1f}	k_{0f}	k_{1f}
1	-0,65	7,22	7	2	10	5	5	2
2	-0,65	-7,22						
3	-0,77	5,35						
4	-0,77	-5,35						
5	-0,8	6,34						
6	-0,8	-6,34						

6. Масленников В. А. Программное обеспечение для расчетов колебательной статической устойчивости энергосистем // Изв. вузов: Энергетика. 1995. № 3–4. С. 33–38.

7. Maslennikov V. A., Ustinov S. M. Software «POISK» / / Advanced Information Technology for Power Systems Stability Control : Proc. of Intern. Conf. on Informatics and Control (ICI&C'97). Vol 2. St. Petersburg, 1997. P. 696–703.

8. Дойников А. Н. Построение математической модели для централизованного регулирования возбуждения генераторов в сложной энергосистеме по выборкам реальных сигналов // Электрификация металлургических

предприятий Сибири / сост. и общ. ред. Б. И. Кудрина. Вып. 8. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1999. С. 198–202.

9. Дойников А. Н., Григорьева Т. А. Анализ динамических свойств и синтез моделей электроэнергетических систем по режимным частотным характеристикам // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем / Иркут. гос. ун-т путей сообщения. Иркутск, 2005. С. 91–102.

10. Калинина Е. А., Утешев А. Ю. Теория исключения : учеб. пособие. СПб. : Изд-во С.-Петербург. гос. ун-та, 2002.

I. V. Ignatyev, A. E. Kovrov

THE CHOICE ALGORITHM OF AUTOMATIC EXCITATION REGULATOR SETTINGS FOR MULTIMACHINE ELECTRIC POWER SYSTEMS

A program-realized coordinated choice algorithm of automatic excitation regulator settings is presented. This algorithm is based on the resultant theory and uses a mathematical model which is synthesized by experimental frequency characteristics of the electric power system.

Keywords: automatic excitation regulator; resultant.

© Игнатъев И. В., Ковров А. Е., 2010

УДК 004.942+574.5

Ю. С. Петров, В. Е. Распопов

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Рассмотрены точечная имитационная и одномерная математические модели водных экосистем. Модели предназначены для изучения экосистем плесов Красноярского водохранилища и отдельных участков реки Енисей. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: математическая модель, математическое моделирование водных экосистем, вычислительный эксперимент.

В общем перечне актуальных задач, решаемых с помощью математического моделирования, экологические проблемы занимают особое место. Увеличение антропогенного воздействия на окружающую среду, вызванное интенсивным использованием природных ресурсов в процессе материального производства, приводит к нарушению экологического равновесия как локально в отдельных районах земного шара, так и глобально в масштабах планеты. Необходимость борьбы с антропогенным эвтрофированием водоемов и их загрязнением, принявшими глобальный характер, стимулировала проведение широкого круга исследований в области лимнологии, математического моделирования и экономики, связанных с проблемами сохранения, восстановления и эффективного использования природных ресурсов озер и искусственных водоемов.

Экологическое состояние водных объектов зависит от большого числа разнообразных факторов и процессов:

гидрофизических, гидробиологических, гидрохимических, метеорологических и антропогенных. При этом особое внимание следует обратить на гидрофизические процессы, которые в значительной мере формируют среду обитания гидробионтов, определяют перенос и седиментацию веществ, интенсивность загрязнения и самоочищения водоемов.

Проблема качества воды является комплексной проблемой, так как вода – это сложная физическая, биохимическая и экологическая система. Эффективным средством объективного анализа возникающих проблем в области гидробиологии являются методы, основанные на построении и изучении математических моделей водных экосистем. Использование математического моделирования и проведение вычислительного эксперимента позволяют предсказать динамику развития водной экосистемы, а также оценить последствия реализации различных проектов, связанных с воздействием на эту экосистему.

Известен ряд общих требований, предъявляемых к каждой математической модели:

- соответствующая система уравнений должна быть замкнутой и непротиворечивой;
- модель должна описывать широкий класс физических явлений и допускать конструирование реализуемого численного алгоритма.

В данной статье представлены результаты расчетов, проведенных с использованием математической модели водной экосистемы, являющейся усовершенствованием модели [1]. Модель модифицирована выделением зеленых водорослей в качестве самостоятельного компонента математической модели и введением дополнительного уравнения, описывающего изменение концентрации этих водорослей.

Описание математической модели. В качестве динамических переменных модели взяты концентрации зеленых водорослей ($CA0$), сине-зеленых водорослей ($CA1$), диатомовых водорослей ($CA2$), зоопланктона (CZ), бактерий (CB), детрита (CD), растворенных в воде неорганического фосфора (PS), неорганического азота (NS), органики (POB) и кислорода ($O2$).

В модели учитываются следующие процессы:

- рост микроорганизмов;
- выделение продуктов метаболизма;
- смертность микроорганизмов;
- процессы оседания;
- переходы по трофической цепи;
- процессы разложения;
- атмосферная реэрация (выделение кислорода из воды);
- денитрификация (процесс восстановления нитратов до молекулярного азота, вызываемый бактериями);

- лимитирующие факторы (освещенность, температура);
- аэрация воды (насыщение воды кислородом воздуха).

Главной особенностью данной модели является разделение сине-зеленых водорослей на два вида: зеленые и сине-зеленые, что отсутствует во многих моделях, но имеет большое значение для исследования экологии водоемов, поскольку развитие этих водорослей различается.

Модель позволяет предсказать динамику развития водной экосистемы, в том числе трансформации азота и фосфора как одних из основных биогенных элементов, определяющих продуктивность и качество воды в водоемах.

Структура модели, описывающая функционирование экосистемы, приведена ниже (рис. 1).

На основе этой блок-схемы построена точечная имитационная модель, описывающая рассматриваемые процессы в экосистеме. Математическая модель представляет собой следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений с соответствующими начальными данными:

$$\frac{dCA0}{dt} = (mA0 - RA0 - MA0) \cdot CA0 + \alpha_0 \cdot CA1 \cdot CA0,$$

$$\frac{dCA1}{dt} = (mA1 - RA1 - MA1) \cdot CA1 - \alpha_1 \cdot CA1 \cdot CA0,$$

$$\frac{dCA2}{dt} = (mA2 - RA2 - SA2 - MA2) \cdot CA2 - \frac{mZ \cdot CZ}{Y1},$$

$$\frac{dCZ}{dt} = (mZ - RZ - MZ)CZ,$$

$$\frac{dCB}{dt} = (mB - RB - MB)CB - \frac{mZ \cdot CZ}{Y2},$$

$$\frac{dCD}{dt} = MA0 \cdot CA0 + MA1 \cdot CA1 + MA2 \cdot CA2 + MZ \cdot CZ + MB \cdot CB -$$

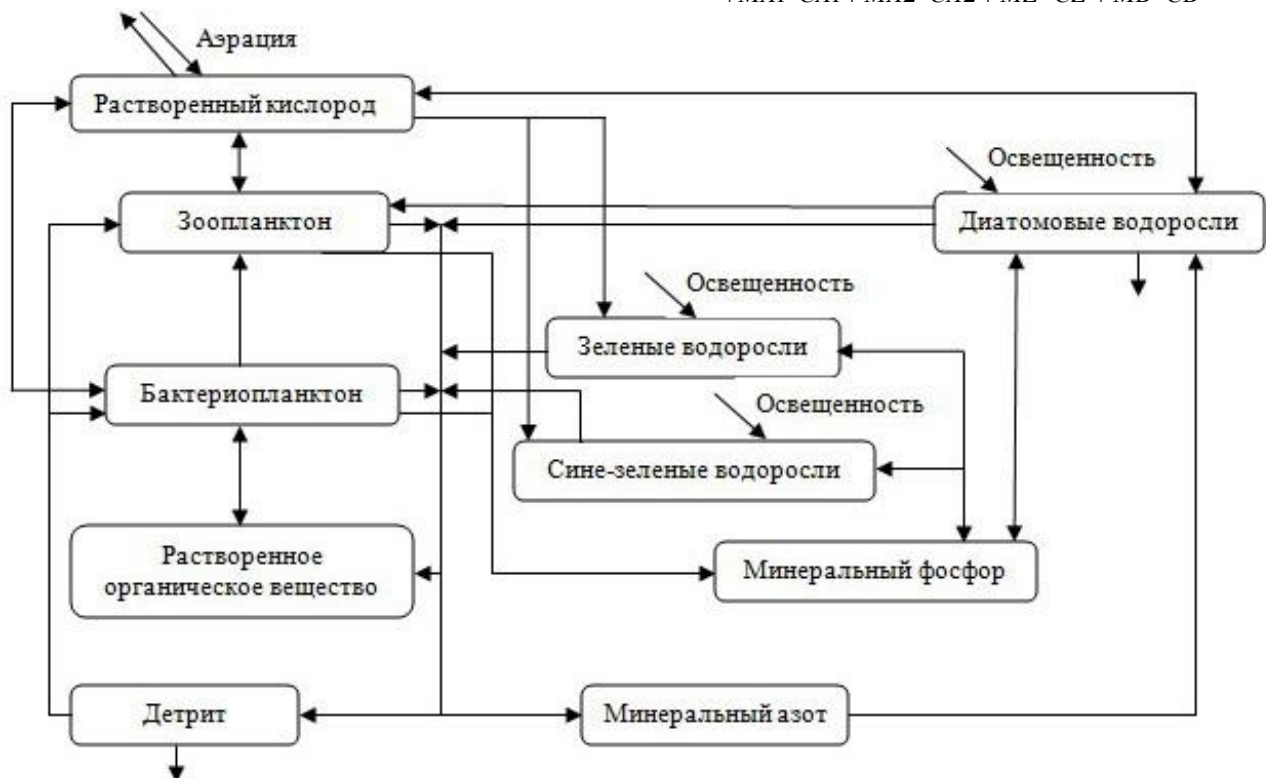


Рис. 1. Блок-схема математической модели
(стрелками обозначены направления потоков вещества между компонентами экосистемы)

$$-SA3 \cdot CD - \frac{mB \cdot CB}{Y3} - \frac{mZ \cdot CZ}{Y4}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dPS}{dt} &= -(mA0 - RA0) \cdot PP0 \cdot CA0 - (mA1 - RA1) \cdot PP1 \cdot CA1 - \\ &- (mA2 - RA2) \cdot PP2 \cdot CA2 + RZ \cdot CZ \cdot PP3 + RB \cdot CB \cdot PP4, \\ \frac{dNS}{dt} &= RA0 \cdot PN0 \cdot CA0 + \\ &+ RA1 \cdot PN1 \cdot CA1 - (mA2 - RA2) \cdot PN2 \cdot CA2 + \\ &+ RZ \cdot CZ \cdot PN3 + RB \cdot CB \cdot PN4, \\ \frac{dPOB}{dt} &= -\frac{mB \cdot CB}{Y5} + h0 \cdot RA0 \cdot CA0 + h1 \cdot RA1 \cdot CA1 + \\ &+ h2 \cdot RA2 \cdot CA2 + h3 \cdot RZ \cdot CZ + h4 \cdot RB \cdot CB, \\ \frac{dO2}{dt} &= K1(O2O - O2) + \\ &+ K_{acc}(mA0 \cdot CA0 + mA1 \cdot CA1 + mA2 \cdot CA2) - \\ &- alf(RA1 \cdot CA1 + RA2 \cdot CA2 + RZ \cdot CZ + RB \cdot CB) - B1 \cdot mZ \cdot CZ, \end{aligned}$$

где MAi – функции, описывающие рост; коэффициенты: RAi – дыхания, MAi – смертности, SAi – оседания, Yi – пропорциональности; T – температура, °C; t – время.

При описании живых компонентов учитываются входящий и исходящий потоки. Входящий поток – это доля полученных ресурсов (пищи), затрачиваемая на рост и воспроизводство, исходящий – выедание особей из данного компонента хищниками и смертность в силу других причин. При этом учитывается влияние на скорость потоков внешней среды (температуры и т. п.).

В микробиологических системах скорость роста, как правило, лимитируется концентрацией субстратов. Для

описания процесса лимитирования применялась гиперболическая зависимость, предложенная Ж. Моно.

Предполагается, что рост зеленых и сине-зеленых водорослей лимитируется фосфором, а диатомовых – азотом и фосфором. Функции роста, смертности, освещенности и температурной зависимости, а также все входные данные взяты из работ [1; 2; 3].

Построенная математическая модель представляет собой задачу Коши для системы из десяти обыкновенных дифференциальных уравнений. Для численного решения задачи Коши применяется метод Рунге–Кутты четвертого порядка аппроксимации:

$$\bar{y}_{n+1} = \bar{y}_n + \frac{1}{6} \tau (\bar{K}_1 + 2\bar{K}_2 + 2\bar{K}_3 + \bar{K}_4),$$

$$\bar{K}_1 = \bar{F}(t_n, \bar{y}_n),$$

$$\bar{K}_2 = \bar{F}(t_n + \frac{\tau}{2}, \bar{y}_n + \tau \frac{\bar{K}_1}{2}),$$

$$\bar{K}_3 = \bar{F}(t_n + \frac{\tau}{2}, \bar{y}_n + \tau \frac{\bar{K}_2}{2}),$$

$$\bar{K}_4 = \bar{F}(t_n + \tau, \bar{y}_n + \tau \bar{K}_3), \quad n = 0, 1, \dots,$$

где $\bar{y}$ – вектор-функция неизвестных; $\bar{F}$ – правая часть системы (1); τ – шаг по времени; $\bar{y}_0$ задано.

Отметим, что многокомпонентность модели значительно усложняет задачу как самого моделирования, так и изучения модели, так как для каждого коэффициента необходимо указать его значение (рис. 2).

Разработан комплекс программ, позволяющий вводить входные данные также и в интерактивном режиме. Результаты расчетов могут быть получены численно,

Введите коэффициенты модели

Коэффициенты модели			
mA1max: 1.8	Y4: 0.8	KP1: 1.2	cK2: 20
mA2max: 0.8	Y5: 0.5	KP2: 0.4	cK3: 1.05
mZmax: 0.8	h1: 0.00375	Kacc: 0.1	maxE: 186
mBmax: 0.5	h2: 0.2	alf: 0.05	KE: 10
MA1: 0.04	h3: 0.1	S1_T: 19	KO2: 30
MA2: 0.03	h4: 0.1	S2_T: 14	KMD: 50
MZ: 0.03	PP1: 0.1	S3_T: 31	KOB: 5
MB: 0.015	PP2: 0.1	S4_T: 38	A1: 40
RA1: 0.1	PP3: 0.4	S1_D: 14	A2: 20
RA2: 0.01	PP4: 0.3	S2_D: 9.9	A3: 20
RZ: 0.04	B1: 0.2857	S3_D: 10	CON: 1
RB: 0.05	PN1: 0.001	S4_D: 24	ZO2: 7
SA2: 0.03	PN2: 0.051	cL1: 1	mA0max: 1.4
SA3: 0.02	PN3: 0.3	cL2: 0.5	h0: 0.00375
Y1: 9	PN4: 0.3	cL3: 50	alfA0: 0.8
Y2: 10	KN1: 0	cL4: -0.03	alfA1: 0.6
Y3: 0.05	KN2: 0.131	cK1: 0.6	
MA0: 0.04	PP0: 0.1	KP0: 1.2	
PN0: 0.001	RA0: 0.1	KB: 0.3	

Уравнения модели

Начальные значения системы

CA1 - концентрация сине-зеленых водорослей мг/л	0.48
CA2 - концентрация диатомовых водорослей мг/л	0.2
CZ - концентрация зоопланктона, мг/л	0.018
CB - концентрация бактерий, мг/л	0.3
CD - концентрация детрита (мертвая органика) мг/л	0.23
PS - растворенный в воде фосфор (неорганический), мг/л	0.78
NS - растворенный в воде азот (неорганический), мг/л	0.2
POB - растворенная в воде органика, мг/л	0.03
O2 - растворенный кислород, мг/л	4
CA0 - концентрация зеленых водорослей мг/л	0.328

Применить Отмена

Рис. 2. Коэффициенты модели и начальные значения системы

представлены графически и переданы вовне для последующей обработки. Для управления графическим представлением результатов вычислений предусмотрено соответствующее меню.

Программный комплекс реализован в среде Visual C++ 6.0 с использованием MFC (Microsoft Foundation Classes) – одного из наиболее удобных и мощных инструментов создания Windows-приложений. Комплекс обладает дружественным интерфейсом, удобен в работе и предназначен не только для математиков, но и для исследователей, не являющихся специалистами в программировании.

Вычислительный эксперимент. Первые вычислительные эксперименты были посвящены сравнительному анализу результатов, полученных с помощью математической модели из работы [1] и ее модификации (1) при одних и тех же входных данных [4]. Результаты расчетов показали, что концентрации диатомовых водорослей, бактерий и детрита, получаемые по модели [1], имеют меньшее совпадение с экспериментальными данными, чем результаты, полученные по приведенной выше модели. Таким образом, проведенные вычислительные эксперименты показали эффективность выделения зеленых водорослей в качестве самостоятельного компонента математической модели экосистемы водоема.

Дальнейшие расчеты, проведенные с использованием усовершенствованной математической модели, были посвящены исследованию общих тенденций сезонного изменения динамических переменных модели на основе экспедиционных данных по Новоселовскому плесу Красноярского водохранилища за 1998–2000 гг. Отметим, что для сравнения с результатами расчетов ниже будут представлены только те натурные данные, которые точно известны в конкретные моменты времени. За остальной временной период, в силу неполноты имеющейся информации, проведен сравнительный анализ по усредненным

данным, также показавший качественное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

В частности, сезонная динамика диатомовых водорослей демонстрирует качественную картину двух пиков цветения: летний с максимальной биомассой 5,9 мг/л и осенний с максимальной биомассой 2,27 мг/л, что хорошо согласуется с данными наблюдений [5]. Суммарная биомасса диатомовых водорослей по наблюдениям в июле и августе снизилась до 1,2...2,0 мг/л. Модельный расчет также выявил падение значений биомассы в указанный период (рис. 3).

Сопоставление модельного представления сезонного хода зеленых и сине-зеленых водорослей с экспериментальными данными [6] показало, что при общей заниженности модельных концентраций (примерно в 1,5 раза) относительный временной ход был реконструирован верно (рис. 4). Годовой ход биомассы зоопланктона имеет единственный пик и соответствует максимальным значениям биомасс зеленых и сине-зеленых водорослей, что также соответствует теоретическим представлениям.

Для сезонного хода концентраций соединений азота и фосфора расчет показал падение значений концентраций соединений азота в сезоны интенсивного развития планктона и максимальные значения при минимумах биомассы планктона.

Годовой ход концентрации органического вещества имеет два выраженных максимума со значениями 0,29 мг/л в начале лета и 0,54 мг/л осенью. Эти периоды соответствуют максимальным значениям биомасс фитопланктона. Для сезонной динамики бактерий и детрита характерны два пика развития: первый приходится на середину лета, второй – на начало осени. Таким образом, детрит оказывает влияние на рост бактерий и стимулирует их продуктивность, что также соотносится с натурными данными.

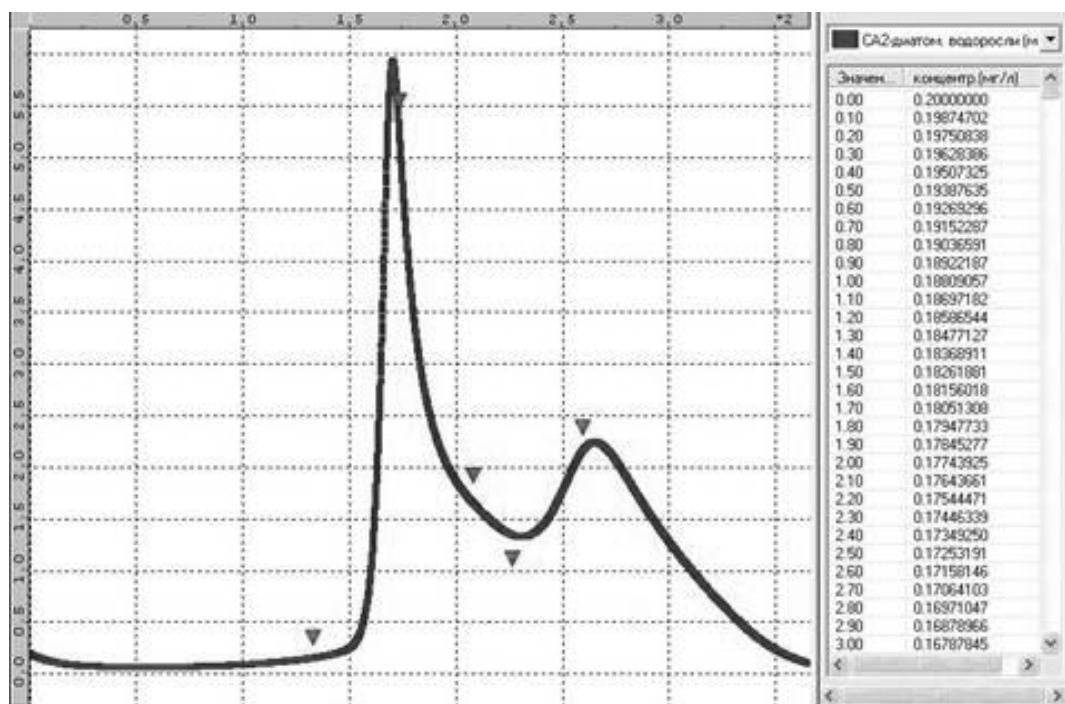


Рис. 3. Сравнение экспериментальных данных с численными результатами для диатомовых водорослей (треугольниками обозначены натурные данные)

Полученные модельные расчеты дают неплохое совпадение с экспериментальными данными, что свидетельствует об адекватности рассмотренной модели.

Одномерная модель водной экосистемы. Наряду с точечной моделью была рассмотрена математическая модель, учитывающая перенос вещества по длине водоема (одномерная в горизонтальной плоскости). Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + V \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = \bar{F}(t, x, \bar{U}) \quad (2)$$

с соответствующими начальными и краевыми условиями:

$$\bar{U}(t, 0) = \bar{U}_0(t),$$

$$\bar{U}(0, x) = \bar{U}_1(x),$$

где V – скорость течения водоема; x – пространственная переменная, соответствующая длине водоема; t – время. Правая часть уравнений (2) соответствует правой части системы (1). При таком моделировании предполагается, что вещество равномерно распределено по ширине потока и движется со средней скоростью потока, т. е. рассматриваются осредненные по глубине и ширине водоема характеристики. Отметим, что данную модель целесообразно использовать в том случае, если длина водоема много больше его ширины.

Предложенная математическая модель также реализована численно с помощью неявной разностной схемы

$$\frac{y_j^{n+1} - y_j^n}{\tau} + V \frac{y_j^{n+1} - y_{j-1}^{n+1}}{h} = \bar{F}_j^n.$$

В качестве начальных данных берутся начальные данные из точечной модели, а в качестве краевых условий –

решение, полученное по точечной модели. Начальное распределение всех компонентов системы считается равномерным.

Расчет проводился для времени от $t = 0$ до $t = 365$, т. е. в течение года, для Новоселовского плеса Красноярского водохранилища, а также для участков реки Енисей от Красноярской ГЭС вниз по течению со средней скоростью течения 1,2 км/ч на расстояниях от 10 до 100 км. В частности, результаты расчетов для бактерий показали, что при указанных условиях концентрация бактерий в выбранной части водоема изменяется значительно (рис. 5) (по мнению авторов, большой перепад значений во многом обусловлен течением).

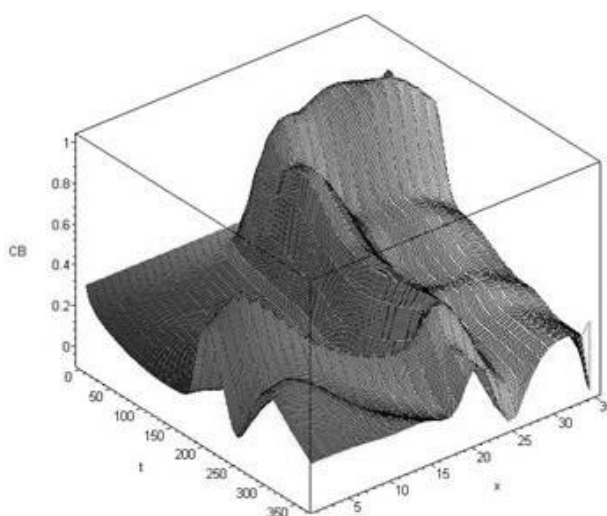


Рис. 5. Результаты расчетов для бактерий, проведенных по одномерной математической модели

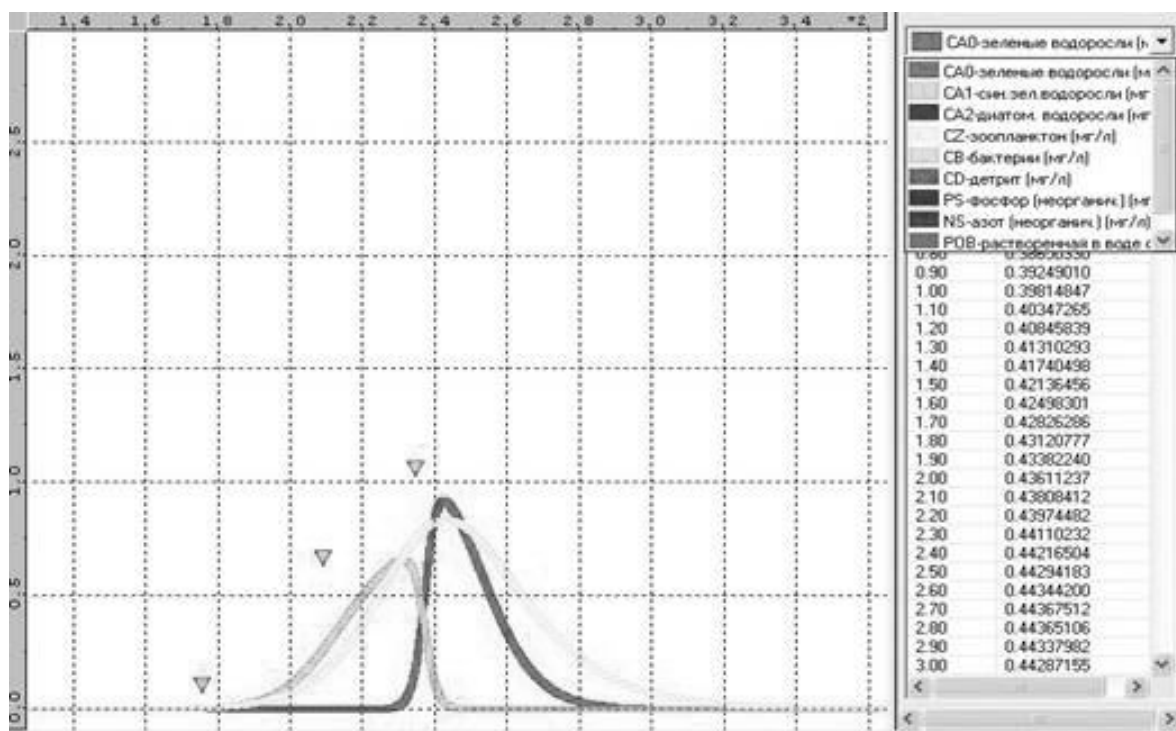


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных с численными результатами для сине-зеленых водорослей (треугольниками обозначены натурные данные)

Отметим, что экосистема реки Енисея на участке, примыкающем к Красноярской ГЭС, сильно обеднена из-за разрушающего действия ее турбин и низкой температуры воды. Процесс самоочищения воды на этом наиболее загрязненном участке реки ослаблен. Зоопланктон в процессе деструкции вещества играет ничтожную роль. Бактериальная масса, которая здесь накапливается, подвергается интенсивной деструкции только ниже впадения реки Ангара.

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что чем больше расстояние от Красноярской ГЭС, тем больше изменяется концентрация искомых компонентов, в частности происходит сдвиг пиков для диатомовых водорослей, бактерий и детрита. При расстоянии от ГЭС свыше 100 км модель описывает динамику развития водной экосистемы в пространстве менее адекватно. Очевидно, это обусловлено тем, что при изучении характеристик качества воды следует учитывать более сложные и полные процессы: гидродинамические (перемешивание, давление, ветровые и глубинные течения), теплоперенос и освещенность. Поэтому необходимо использование моделей, основанных на различных вариантах уравнений механики жидкости и теплопереноса и соответствующих граничных условиях [7].

Таким образом, построены точечная и одномерная математические модели водных экосистем, состоящие из десяти дифференциальных уравнений. Использование этих моделей позволяет выявлять динамику процессов, протекающих в сложной экологической водной системе, прогнозировать ее состояние во времени и в пространстве (с помощью одномерной в горизонтальной плоскости модели) на расстоянии до 100 км, анализировать проблемные ситуации. В частности, модели могут описывать изменение гидробионтов и основных биогенных элементов, а также воспроизводить ситуации возникновения как одного, так и двух пиков цветения фитопланктона во время вегетационного периода в зависимости от внешних условий. Необходимо, однако, отметить, что предложенные математические модели очень чувствительны к изменению параметров и требуют тщательного подбора коэффициентов для конкретной водной экосистемы. Результаты, полученные с помощью описанных выше моделей, могут использоваться и при оценке экологических рисков.

Также разработан комплекс компьютерных программ и проведено численное моделирование некоторых процессов, протекающих в экосистеме Новоселовского плеса Красноярского водохранилища и реки Енисея.

Авторы благодарят профессора З. Г. Гольд за полезные советы при работе над статьей.

Библиографические ссылки

1. Математическое моделирование плесов Красноярского водохранилища / В. А. Сапожников, В. Е. Распопов, З. Г. Гольд и др. // Объединение субъектов Российской Федерации и проблемы природопользования в Приенисейской Сибири : тез. и материалы докл. межрегион. науч.-практ. конф. / Краснояр. гос. ун-т. Красноярск, 2005. С. 296–298.
2. Бородин А. Л., Распопов В. Е. Численная идентификация коэффициентов математической модели экосистемы водоема // Вычисл. технологии. 2008. Т. 13 : Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Серия «Математика, механика, информатика». 2008. № 3 (58) : совм. вып. С. 302–306.
3. Губанов В. Г. Биотический круговорот и взаимодействие трофических звеньев в искусственных и естественных биосистемах : дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Красноярск, 2004.
4. Петров Ю. С. Специализированное программное обеспечение для проведения вычислительных экспериментов при математическом моделировании водных экосистем // Молодежь и наука: начало XXI века : материалы Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 ч. Ч. 1 / Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2009. С. 78–80.
5. Кожевникова Н. А. Фитопланктон глубоководной части Красноярского водохранилища // Альгология. 2002. № 2. С. 39–40.
6. Щур Л. А. Структура и функциональные характеристики бактерио- и фитопланктона в экосистемах водоемов разного типа : дис. ... д-ра биол. наук, Красноярск, 2006.
7. Белолипецкий В. М., Генова С. Н., Гуревич К. Ю. Компьютерная система для исследования динамики гидрофизических и радиоэкологических характеристик речной системы // Вычисл. технологии. 2001. Т. 6, № 2. С. 14–24.

Y. S. Petrov, V. E. Raspopov

RESULTS OF COMPUTING EXPERIMENTS AT MATHEMATICAL MODELING OF WATER ECOSYSTEMS

Point-wise imitating and one-dimensional mathematical models of water ecosystems are considered. Models are intended for studying of ecosystems of the Krasnoyarsk water basin reaches and separate sites of the river Yenisei. Results of computing experiments are given.

Keywords: mathematical model, mathematical modeling of water ecosystems, computing experiment.

© Петров Ю. С., Распопов В. Е., 2010

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ РАДИОСИГНАЛОВ

Проведена оценка фрактальных свойств радиосигналов. Показано, что для классификации входных сигналов можно использовать такие параметры, как корреляционная и фрактальная размерности, корреляционная энтропия и показатель Херста. Экспериментально определены диапазоны изменения фрактальных параметров для сигналов с различными видами модуляции.

Ключевые слова: цифровая обработка, фрактальные свойства, классификация входных сигналов.

Интенсивное развитие средств связи и отсутствие эффективных средств контроля радиочастотного спектра приводят к образованию различного рода взаимных помех. Для разрешения проблемы частотного регулирования необходимы эффективные системы контроля радиоэлектронной обстановки. Существующие системы радиомониторинга [1] требуют участия опытного оператора и не могут работать в автоматическом режиме. Развитие методов цифровой обработки и элементной базы позволяет начать разработку автоматических систем радиомониторинга, не требующих участия оператора.

По мнению авторов, стройная теория автоматического обнаружения и классификации случайных сигналов пока отсутствует. Данная работа направлена на исследование фрактальных свойств радиосигналов. Интерес к фрактальному анализу обусловлен тем, что такой вид обработки позволяет оценить интегральные характеристики сигналов, которые не зависят от момента прихода и рассчитываются для всей длительности сигнала.

Проведенные исследования демонстрируют возможность использования фрактальной обработки в качестве одного из признаков при классификации входных сигналов в автоматической системе радиомониторинга. Наиболее значимым результатом, полученным при этом, является определение диапазонов изменения фрактальных параметров для сигналов с различными видами модуляции.

Корреляционная размерность. Определение корреляционной размерности – один из наиболее широко используемых методов оценки размерности любого аттрактора.

Чтобы определить корреляционную размерность D_r , необходимо сначала рассчитать корреляционный интеграл C_r [2], поскольку он пропорционален D_r согласно степенному закону:

$$C_r \propto r^{D_r}, \quad (1)$$

Сам же корреляционный интеграл определяется с помощью следующего выражения:

$$C_r = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \theta(r - |X_i - X_j|), \quad (2)$$

где θ – функция Хэвисайда; r – радиус N -мерной гиперсферы, центр которой будет совпадать с каждой точкой в пределах аттрактора.

Графический подход к оценке корреляционного интеграла является более наглядным (рис. 1).

Сначала выбирается одна любая точка, принадлежащая аттрактору. Затем гиперсфера выбранного радиуса r помещается в эту точку так, как показано на рис. 1. В трехмерном пространстве гиперсфера будет просто сфе-

рой, а в двухмерном – окружностью. Далее центр гиперсферы последовательно перемещается от точки к точке вдоль аттрактора, а функция Хэвисайда подсчитывает количество точек, которые попали в область гиперсферы (рис. 2). Корреляционный интеграл для гиперсферы выбранного радиуса r будет вычислен тогда, когда для каждой точки аттрактора будет вычислена функция Хэвисайда.

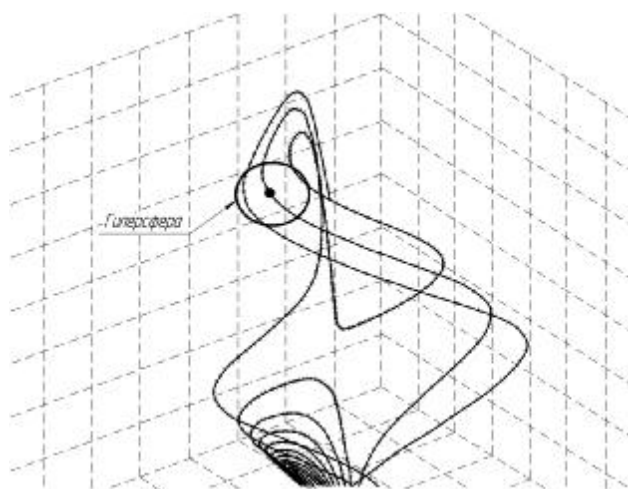


Рис. 1. Трехмерный аттрактор Лоренца

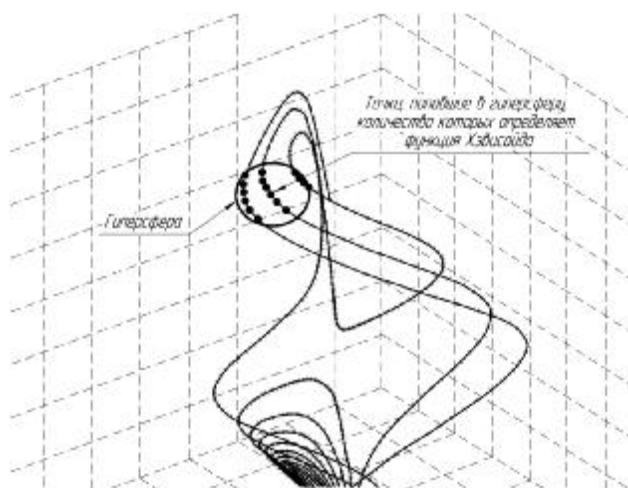


Рис. 2. Функция Хэвисайда

Для вычисления корреляционной размерности D_r необходимо оценить корреляционные интегралы C_r для гиперсфер различных радиусов. Следовательно, следующим шагом является увеличение радиуса гиперсферы и повторение алгоритма.

Первоначально размер гиперсферы выбирается настолько малым, что ни одна другая точка в ее область не попадает, а затем размер гиперсферы увеличивается до тех пор, пока абсолютно все точки не окажутся в ее области.

Алгоритм вычисления корреляционного интеграла для конкретного аттрактора [3] показан ниже (рис. 3).

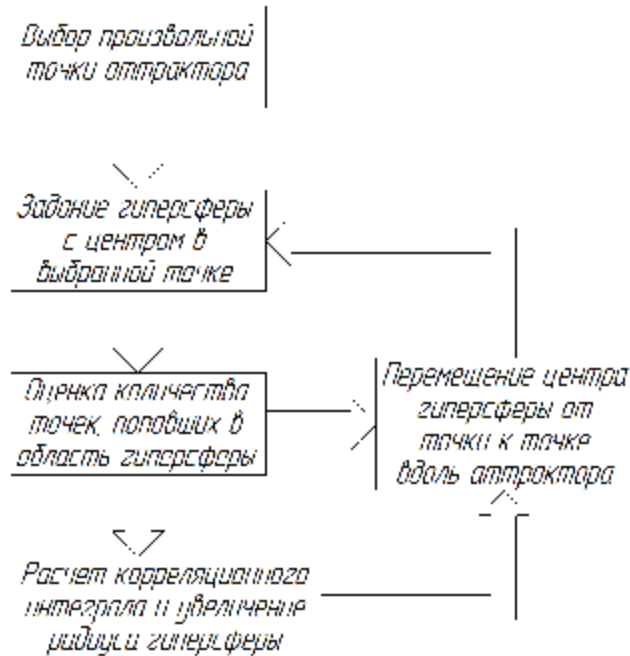


Рис. 3. Алгоритм расчета корреляционного интеграла

Показатель Херста. Способ для исследования фрактальных временных рядов был предложен Б. Мандельбротом [4]. Этот способ базируется на исследованиях, проведенных английским исследователем Херстом, и носит название $\frac{R}{S}$ -метода. Он построен на анализе размаха параметра (его наибольшего и наименьшего значения на изучаемом отрезке) и среднеквадратичного отклонения.

Предложенная Херстом новая статистика – показатель H – широко применяется в анализе временных рядов благодаря своей устойчивости. Этот показатель содержит минимальные предположения об изучаемой системе и может классифицировать временные ряды, отличив случайный ряд от неслучайного, даже если случайный ряд не гауссов, т. е. не нормально распределенный.

Для калибровки временных измерений было введено безразмерное отношение посредством деления размаха на стандартное отклонение наблюдений. Этот способ анализа стал называться методом нормированного размаха, или $\frac{R}{S}$ -анализом. Херстом было показано, что большинство естественных явлений, включая речные стоки, температуры, осадки, солнечные пятна и т. д., следуют смещенному случайному блужданию – тренду с шумом. Сила тренда и уровень шума могут быть оценены по тому, как изменяется нормированный размах со временем.

Основываясь на исследованиях Херста, введем следующее соотношение:

$$\frac{R}{S} = (a \cdot N)^H, \quad (3)$$

где $\frac{R}{S}$ – нормированный размах; N – число наблюдений; a – константа; H – показатель Херста. Прологарифмируем это соотношение:

$$\log\left(\frac{R}{S}\right) = H(\log(a) + \log(N)). \quad (4)$$

Найдя наклон $\frac{R}{S}$ как функцию от N в двойных логарифмических координатах, мы получим оценку H . Эта оценка не связана с какими-либо предположениями относительно лежащего в основе распределения.

Имеются три различных классификации для показателя Херста [3]:

- значение $H = 0,5$ указывает на случайный ряд, когда события случайны и не коррелированы;

- диапазон $0 \leq H < 0,5$ соответствует антиперсистентным, или эргодическим, рядам. Такой тип системы часто называют «возврат к среднему». Если система демонстрирует рост в предыдущий период, то, скорее всего, в следующем периоде начнется спад. И наоборот, если шло снижение, то вероятен близкий подъем. Устойчивость такого антиперсистентного поведения зависит от того, насколько H близок к нулю. И наоборот, чем ближе показатель Херста к $0,5$, тем более некоррелирован и случаен рассматриваемый ряд;

- диапазон $0,5 < H \leq 1$ соответствует персистентным рядам. Если ряд возрастает (убывает) в предыдущий период, то вероятно, что он будет сохранять эту тенденцию какое-то время в будущем. Сила персистентности увеличивается при приближении H к 1 , или 100%-й корреляции. Чем ближе H к $0,5$, тем более зашумлен ряд и тем менее выражен его тренд. Персистентный ряд – это обобщенное броуновское движение, или смещенные случайные блуждания. Сила этого смещения зависит от того, насколько H больше $0,5$.

Эмпирический закон Херста. Херстом была предложена следующая формула для оценки величины H по значению $\frac{R}{S}$:

$$H = \log\left(\frac{R}{S}\right) / \log\left(\frac{N}{2}\right), \quad (5)$$

где N – количество наблюдений. В этой формуле предполагается, что константа a из соотношения

$$\log\left(\frac{R}{S}\right) = H(\log(a) + \log(N)) \text{ равна } 0,5.$$

Федером было показано, что этот эмпирический закон имеет тенденцию увеличивать H , когда он больше $0,7$, и, наоборот, уменьшать, если $H \leq 0,4$, однако для коротких рядов, где регрессия невозможна, этот закон может использоваться как разумное приближение.

Показатель Херста может быть преобразован во фрактальную размерность с помощью следующей формулы:

$$D = 2 - H. \quad (6)$$

Таким образом, если $H = 0,5$, то $D = 1,5$. Обе величины характеризуют независимую случайную систему, при этом величина $0,5 < H \leq 1$ будет соответствовать фрактальной размерности, более близкой к кривой линии. Это персистентный временной ряд, который дает более гладкую, менее зазубренную линию, нежели слу-

чайное блуждание. Антиперсистентная величина $0 \leq H < 0,5$ соответствует более высокой фрактальной размерности и более прерывистой линии, чем случайное блуждание, и, следовательно, характеризует систему, более подверженную переменам.

Авторами данной статьи была предпринята попытка классификации различных сигналов с помощью показателей фрактальной теории оценивания. Наряду с определением фрактальных параметров, сигналы подвергались различного рода преобразованиям, таким как вейвлет-преобразование и добавление в сигнал аддитивного белого гауссового шума (АБГШ) различных отношений сигнал/шум.

Для рассмотрения были выбраны сигналы, модулируемые по следующим законам [5]: BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, ASK, FSK.

Имеющиеся результаты позволяют сделать вывод о возможности классификации различных сигналов с помощью полученных значений корреляционной размерности и энтропии.

Согласно рис. 4, в отсутствии шума сигналы определяются с достаточной степенью точности. Однако при добавлении даже малейшего шума величина разброса значений значительно увеличивается, а само усредненное значение перемещается в область более высоких значений соответствующего параметра, что уменьшает вероятность правильного обнаружения входного сигнала. Очевидно, что для повышения значений этого параметра необходимо использовать дополнительную обработку сигнала.

Оценка влияния количества измерений на величину значений корреляционной размерности и корреляционной энтропии. При проведении исследований было выявлено, что при большом количестве измерений величины D_r и K имеют определенный разброс своих значений, однако стремятся к среднему. Это объясняется подчинением значений этих величин центральной предельной теореме, которая говорит о том, что при суммировании достаточно большого числа равномошных статистически независимых случайных величин, имеющих произвольные плотности распределения вероятности, плотность распределения суммы стремится к нормальной.

Результаты определения оптимального количества измерений D_r и K для BPSK при различном уровне шума (рис. 5) показывают, что при десяти и более измерениях как для BPSK, так и для других сигналов (не представленных на данном графике), фрактальный анализ дает результаты с хорошей степенью точности даже при наличии в сигнале АБГШ.

Анализ влияния вейвлет-преобразования на вероятность правильного обнаружения радиосигналов. В ходе исследования также было рассмотрено влияние вейвлет-преобразования [6] на рассматриваемые сигналы, которое заключается в том, что после осуществления над сигналом вейвлет-преобразования разброс значений корреляционной размерности вокруг среднего сильно уменьшается (рис. 6). Это свидетельствует о повышении вероятности правильного обнаружения сигнала.

Важной особенностью также является то, что наличие в сигнале даже сильного АБГШ практически никак

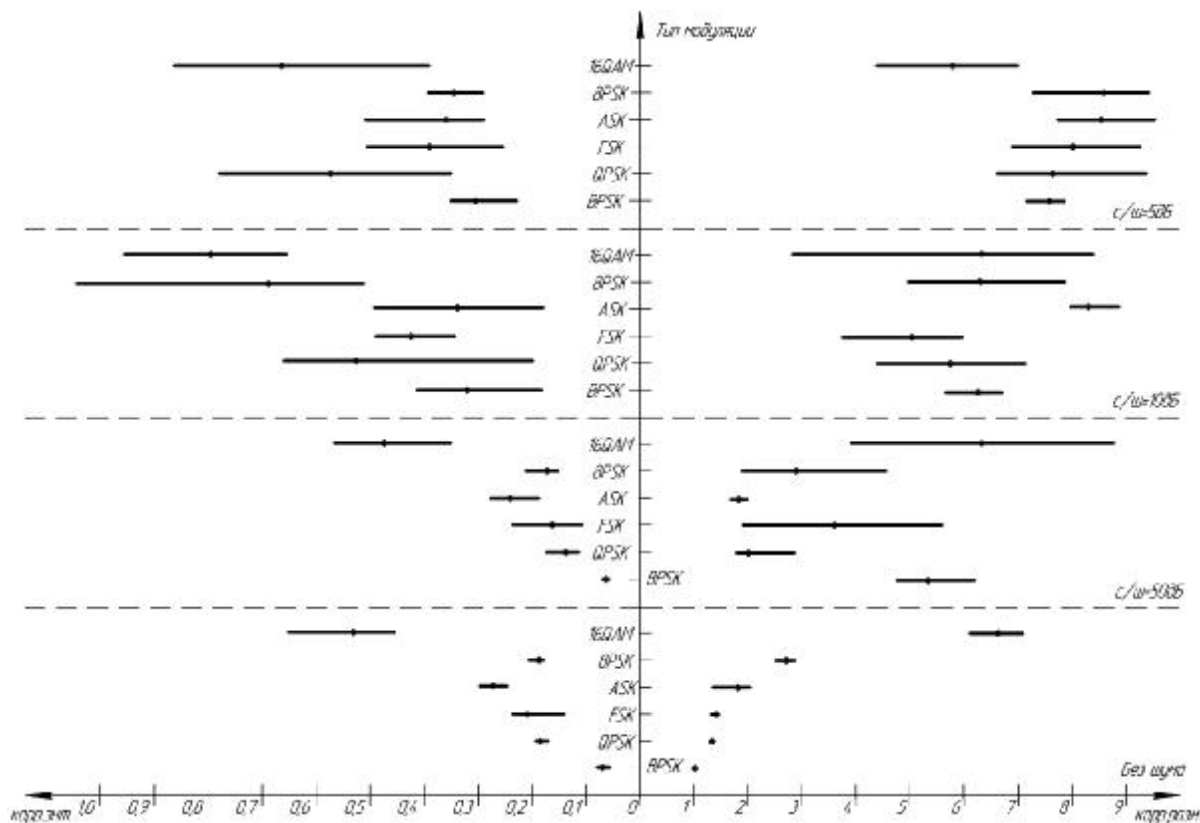


Рис. 4. Оценка корреляционной размерности и энтропии сигналов с АБГШ различных отношений сигнал/шум и без него (точками показаны усредненные значения соответствующего параметра по результатам большого количества измерений, жирными линиями – величина разброса соответствующего параметра вокруг его усредненного значения)

не влияет на разброс значений и вероятность правильного обнаружения, и то, что разброс значений для всех рассматриваемых сигналов практически одинаков, т. е. вид модуляции сигнала после вейвлет-преобразования почти не влияет на разброс фрактальных параметров.

В дальнейшем планируется исследование механизмов вейвлет-обработки сигналов (уровня разложения, видов вейвлетов), а также возможности использования результатов вейвлет-разложения в качестве дополнительного признака для создания автоматической системы радиомониторинга.

Оценка показателя Херста и фрактальной размерности. Значения этих показателей приведены в таблице:

Вид модуляции	Показатель Херста	Фрактальная размерность
FSK	0,097 18	1,902 82
ASK	0,248 40	1,751 60
BPSK	0,008 70	1,991 30
QPSK	0,135 74	1,864 26
8PSK	0,140 98	1,859 02
16QAM	0,194 98	1,805 02

Таким образом, в данной статье была получена оценка фрактальных свойств радиосигналов. Показано, что фрактальную обработку можно использовать для классификации входных сигналов. Проведенные исследования позволили определить диапазоны изменения фрактальных параметров для разных типов сигналов. Проанализирована возможность использования вейвлет-преобразования для уменьшения диапазона изменения фрактальных свойств радиосигналов.

Диапазон полученных значений показателя Херста (и, соответственно, фрактальной размерности благодаря формуле $D = 2 - H$) лежит в пределах $0 \leq H < 0,5$ (рис. 7). Как уже было отмечено выше, данный диапазон соответствует антиперсистентным, или эргодическим, рядам.

Исходя из вышесказанного, можно заключить, что наибольшей предсказуемостью обладает сигнал с двоичной фазовой манипуляцией, сигнал с квадратурной фазовой манипуляцией имеет меньшую предсказуемость, а наиболее случайным является сигнал с 8PSK. Отсчеты сигнала с 16QAM, который можно отнести к широкополосным, обладают наибольшей некоррелированностью.

Проведенное моделирование является важным этапом в формировании пространства признаков для повышения вероятности правильного обнаружения случайных сигналов. Полученные результаты необходимо использовать при создании автоматических систем радиомониторинга. Дальнейшей задачей является расширение и формирование полного пространства признаков, которое позволит создать систему автоматического обнаружения случайных сигналов.

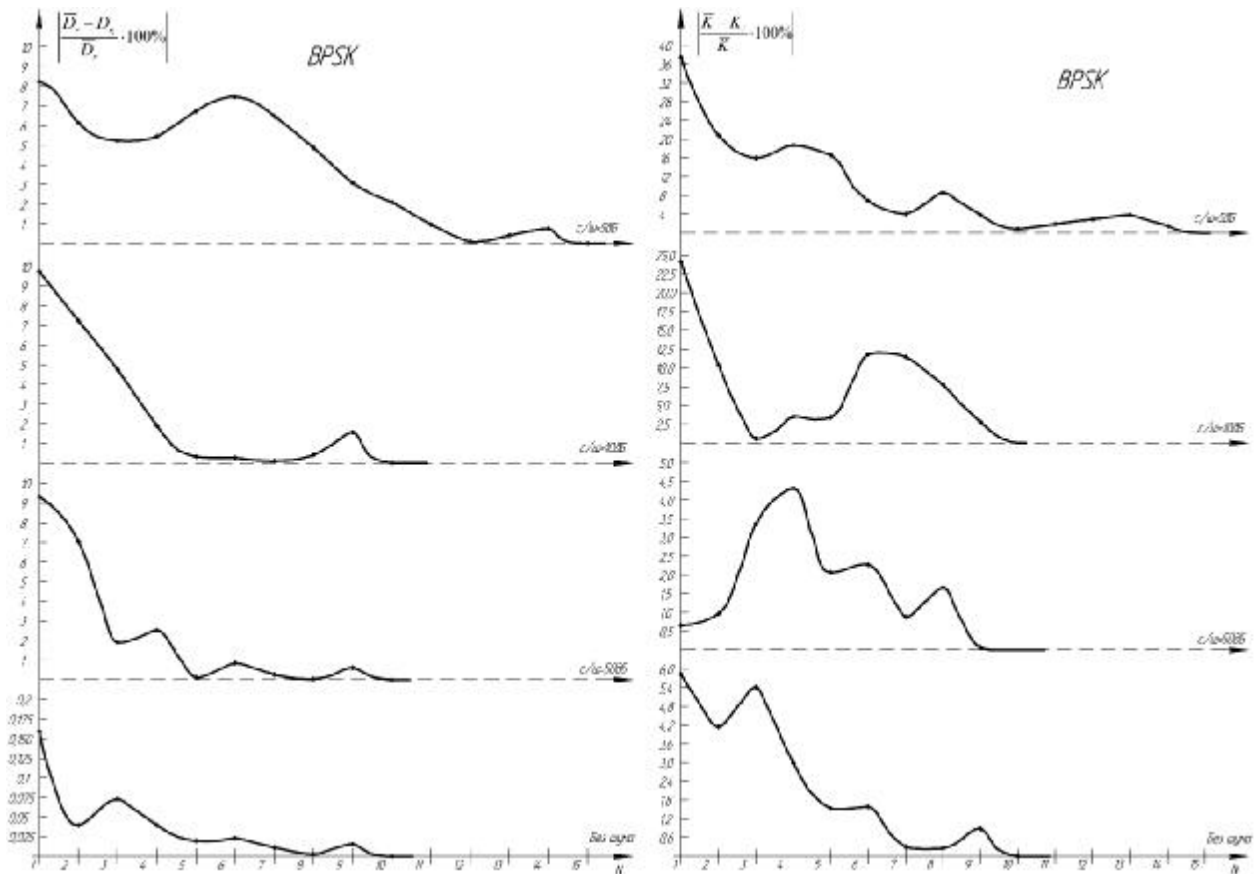


Рис. 5. Определение оптимального количества измерений D_r (слева) и K (справа)

Библиографические ссылки

1. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. М. : Горячая линия – Телеком, 2006.
2. Li I. Non-Linear Dynamical Modeling of Epileptic Seizure : final project rep. / The Univ. of Auckland. Auckland, New Zealand, 2004.
3. Вычисление корреляционной размерности временного ряда котировок валют // Проектирование научных и

инженерных приложений в среде MatLab : тр. II науч. конф. С. 688–695.

4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Ин-т компьютер. исслед. М., 2002.

5. Manassah J. T. Elementary mathematical and computational tools for electrical and computer engineers using MatLab. New York : CRC Press LLC, 2001.

6. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов : пер. с англ. М. : Мир, 2005.

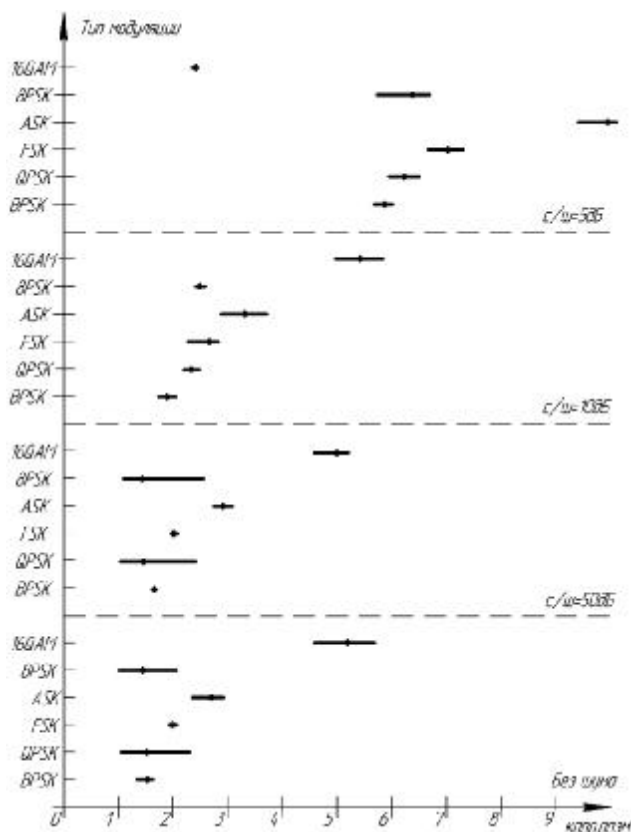


Рис. 6. Корреляционная размерность сигналов после вейвлет-преобразования (обозначения аналогичны обозначениям на рис. 4)

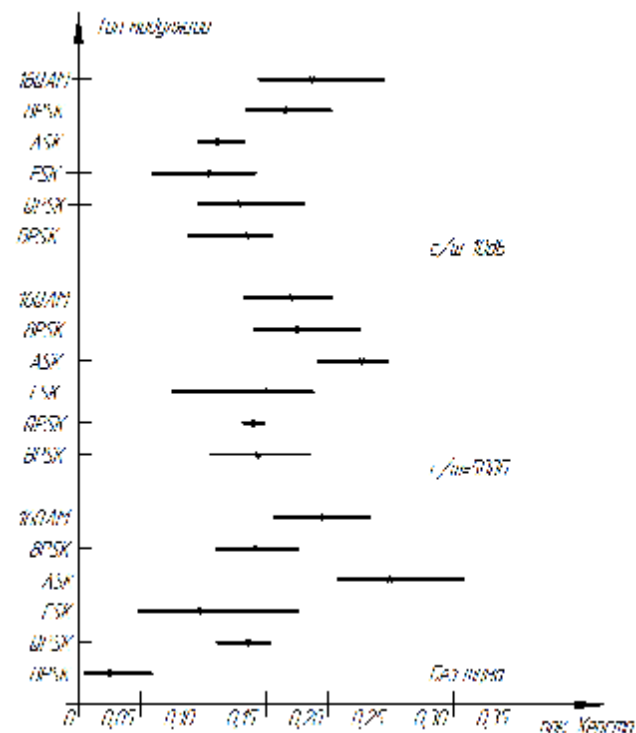


Рис. 7. Показатель Херста рассматриваемых сигналов с АБГШ различных отношений сигнал/шум и без него (обозначения аналогичны обозначениям на рис. 4)

D. V. Stepanov, A. V. Kuzovnikov

RESEARCH OF FRACTAL PROPERTIES OF RADIOSIGNALS

In this job the estimate of fractal properties of radiosignals is made. It's displayed that such parameters as correlative and fractal dimensions, correlative entropy and Hurst's index can be used for classification of input signals. Experimentally ranges of a modification of fractal parameters for signals with different types of modulation are defined.

Keywords: digital processing, fractal properties, classification of input signals.

© Степанов Д. В., Кузовников А. В., 2010

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ИНТЕРНЕТ-СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ*

Рассмотрены вопросы проектирования и реализации геоинформационной интернет-системы мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли Красноярского края. Задачами этой системы являются организация технологической среды для интеграции формируемых в процессе мониторинга информационных ресурсов, решение задач информационного взаимодействия пользователей, создание централизованной базы геопространственных данных, набора интерфейсов и сервисов для визуализации и аналитической обработки накапливаемой информации, тематических веб-приложений. Реализация системы основана на открытом и свободном программном обеспечении ГИС.

Ключевые слова: ГИС, экологический мониторинг, геоинформационный интернет-сервер, веб-картография, геопространственные данные.

Интенсивные исследования мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли (НГО) Красноярского края начались в Сибирском федеральном университете в 2008 г., при поддержке Министерства природных ресурсов и лесной отрасли Красноярского края.

На данном этапе основное внимание уделяется характеристике и оценке современного состояния компонентов окружающей природной среды в районах размещения объектов НГО Красноярского края (первоочередных участках Большехэтского, Юрубчено-Тохомского, Собино-Тэтеринского, Нижнеангарского районов и Таймырского Заполярья); техническим характеристикам объектов НГО, связанных с поиском, разведкой и добычей углеводородного сырья, а также объектов его транспортировки, переработки, хранения и реализации; оценке эффективности действующих систем производственного экологического мониторинга на объектах НГО, уровню подготовки этих объектов к предотвращению аварийных ситуаций и ликвидации их последствий; оценке потенциальных экологических рисков и прогнозу изменений природной среды в районах деятельности объектов НГО; комплексной оценке совокупного воздействия объектов НГО на компоненты природной среды; формированию цифровых карт природных комплексов и объектов, цифровых моделей местности разных масштабов, информационных баз данных.

В качестве одного из важных направлений исследований необходимо отметить задачу проектирования и разработки интегрированной геоинформационной системы (ГИИС), которая должна стать централизованным хранилищем геопространственных данных и обеспечить программно-технологическую основу для различных аналитических тематических приложений и сервисов, а также среду информационного взаимодействия для специалистов.

Проектируемую систему можно охарактеризовать как информационно-аналитическую систему, основанную на интернет- и ГИС-технологиях, в которой предполагается

обработка больших объемов картографической информации, применение эффективных методов анализа данных, визуализация статистических и аналитических данных, сильно изменяющихся в пространстве и времени, с использованием карт и их комбинаций и развитыми средствами доступа к данным [1].

Важнейшим требованием, предъявляемым к разрабатываемым технологическим решениям указанных типов, является своевременное обеспечение пользователя всей информацией, необходимой для принятия решения, в виде, подходящем для анализа. Кроме того, процесс создания отчета должен занимать время, за которое полученный отчет не потеряет своей актуальности.

В данной статье обсуждаются основные программно-технологические результаты и решения, сформированные при реализации их требований.

Отличительные особенности ИГИС. Анализ требований к рассматриваемой системе показал целесообразность разработки следующих ее функциональных компонентов:

- программного обеспечения (ПО) для сбора информации и пользовательских интерфейсов для ввода данных;
- программного обеспечения для доступа к информации, хранящейся в базах данных и файловых архивах;
- программного обеспечения для организации информационного взаимодействия;
- программного обеспечения для визуализации геопространственных данных;
- геоинформационных интернет-сервисов и программных интерфейсов для решения прикладных задач.

Интегрированная геоинформационная система мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли Красноярского края должна включать набор программных средств, предоставляющих пользователям различный набор инструментов для работы с этой системой посредством различных клиентов (веб-клиентов на основе веб-браузера, windows-клиентов), а также ряд средств адми-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 09-07-98002-р_сибирь_a) и гранта Президента РФ для ведущих научных школ (код проекта НШ-3431.2008.9).

нистрирования самой системы и базы данных [2]. При этом доступ к различным компонентам системы можно осуществлять:

- через прямое подключение к базе данных, используемое в основном для ввода и редактирования данных;
- предоставление различных сервисов для доступа к отдельным элементам системы, например для доступа к табличной информации с использованием определенных запросов или доступа к картографическим данным с использованием WMS;
- доступ посредством веб-клиента с использованием стандартного веб-браузера.

Разработка ИГИС должна предусматривать разделение прав доступа пользователей системы: администратора, оператора, обычного пользователя и т. п., позволяя одновременно работать нескольким пользователям с различных мест.

Для некоторых пользователей система может представлять собой обычный атлас, для других – возможности по вводу и редактированию данных, средства построения различных выборок, отчетов в виде таблиц, тематических карт и т. д.

Создаваемая система должна поддерживать следующие базовые функции:

- обеспечение пользователя всеми основными функциями настольной ГИС: выбор карты, навигация по карте, масштабирование карты, смещение участка карты по восьми основным направлениям, центрирование карты по месту «клика» по карте, включение-выключение отображаемых на карте базовых тематических слоев, позиционирование найденного объекта или группы объектов в укрупненном (подробном) масштабе;
- обработку запроса к базе данных, результатом которого является список объектов, удовлетворяющих запросу, тематические отчеты, например функция поиска объектов по географическому названию, справочной информации, статистическим показателям;
- формирование тематических карт с показом различий в качественном состоянии объектов на текущий момент с помощью разных картографических способов изображения;
- получение информации по объектам, попавшим в заданный радиус от места «клика» пользователем по участку карты, в отдельном информационном окне;
- наличие развитой системы прав доступа к картографическим и семантическим данным. А поскольку разветвление ИГИС предполагает доступ к системе многим пользователям, то необходимо разделение прав доступа к информации для разных пользователей;
- установку всех необходимых топологических отношений между объектами на цифровой карте, так как ГИС предназначена в основном для анализа распределения информации по территории и моделирования ситуаций и процессов с целью прогноза. В частности, без межобъектных и межслойных топологических отношений невозможно решать задачи моделирования (анализа и прогноза) развития сетевых систем;
- механизмы обмена данными с внешними системами на основе открытых форматов данных, средства расширения функций ГИС возможностями продвинутых пользователей;

– подготовку макета печати карты, сохранение растрового картографического изображения и уникальной URL-ссылки на него.

При разработке ИГИС необходимо предусмотреть взаимосвязь атрибутивных данных СУБД и геопространственной информации. В основе механизма динамической связи карты с базой лежит соответствие между территориальными объектами базы и карты, т. е. картографическая привязка данных. Каждый территориальный объект в базе данных имеет свой уникальный номер, который прописан в файлах картографических слоев. Таким образом, существует возможность поиска территориального объекта на карте по известному идентификатору и наоборот, осуществление выборки из многомерной базы данных, соответствующих конкретному территориальному объекту, а также мониторинг объектов на карте.

Кроме того, в базе данных могут храниться связи, которые показывают, на каких слоях присутствует нужный объект. Возможности динамической связи картографических объектов существенно расширяют функциональность программного обеспечения. Реализация технологии ГИС позволяет осуществлять пространственные запросы к базе данных и существенно сократить время получения требуемой информации. Пользователь имеет возможность получать визуальное представление о территориальном расположении объектов и соответствии данных этим объектам. Применение различных схем картографической визуализации повышает степень восприятия необработанных исходных числовых данных экологического мониторинга.

Для доступа к пространственным данным в рамках интеграции СУБД, ГИС- и интернет-технологий возможны следующие операции [3]:

- поиск объекта на карте: при выделении географического объекта (группы объектов) в базе данных соответствующий объект динамически находится и отображается на карте;
- тематическое картографирование, отображающее выбранные в таблице данные на карте путем подкраски соответствующих полигонов, линий и точек, а также в виде столбчатых и круговых диаграмм, символов с изменяющимися стилями и размерами;
- навигация по карте: при выделении объекта (группы объектов) на карте соответствующий объект и связанные с ним данные динамически находятся в базе данных и отображаются в таблице;
- мониторинг объектов: на карте в режиме реального времени отображаются объекты, расположение в пространстве которых постоянно изменяется. Дополнительно отображается их состояние;
- реализация пространственных запросов к объектам на карте, т. е. оверлейные операции. Суть этого достаточно мощного средства анализа множества разноименных и разнотипных по характеру локализации объектов состоит в наложении двух разноименных слоев (или множества слоев (больше двух) при многократном повторении операции попарного наложения) с генерацией производных объектов, возникающих при их геометрическом наложении, и наследованием их семантики;

- возможность построения новых слоев на основе аналитических операций и методов пространственно-временного моделирования, например построение буферных зон;

- сетевой анализ, простые картометрические функции.

Все эти функции существуют в различных настольных ГИС, однако для создания ИГИС, с учетом стоящих перед ней задач анализа состояния объектов и ресурсов, необходимо связать эти функции и предложить комплексное решение, обеспечивающее удаленных пользователей инструментами для анализа без установки дорогостоящего ПО. Именно такие технологии могут применяться для управления территориями и комплексного анализа.

Для реализации указанных возможностей возникает необходимость в разработке модели данных для описания наборов пространственных данных и слоев геоданных, обеспечивающих возможность их динамического изменения, а также в построении тематических карт и картограмм, реализации различных пространственных запросов без изменения самих картографических данных.

Таким образом, ИГИС проектируется как система, предусматривающая возможности оперативной обработки данных оперативного экологического мониторинга.

Важной составной частью разрабатываемой системы должны стать технологические решения для выполнения задач вычислительного моделирования в интерактивном режиме. При этом пользователь имеет возможность задавать параметры разработанных для ИГИС математических моделей, их начальные и граничные условия. Источниками данных могут служить данные, хранимые на сервере, либо данные, определяемые пользователем.

Архитектура программного обеспечения аналитической веб-подсистемы ИГИС должна включать следующие основные элементы:

- специальное клиентское программное обеспечение на основе веб-браузера;

- расчетные модели – программные реализации математических и информационных моделей в составе ИГИС;

- ресурсы – данные, хранящиеся в системе. Для хранения каждого типа ресурсов необходимы хранилища данных, например на основе файлового архива данных и СУБД. Для адресации, упорядочивания и разграничения доступа нужен каталог информационных ресурсов;

- веб-сервисы на основе специализированных программных библиотек, используемые для построения расчетных моделей и разделов портала ИГИС. Набор сервисов зависит от специфики решаемых задач.

Благодаря модульной архитектуре создаваемой системы в процессе ее эксплуатации могут формироваться различные графические интерфейсы для пользователей и администратора.

Реализация ИГИС. С информационно-технологической точки зрения ИГИС реализована как многозвенная информационная система, в составе которой работают следующие базовые элементы:

- база данных содержит характеристики объектов учета, данные мониторинга, различные учитываемые параметры;

- файловый архив данных служит для централизованного хранения неструктурированной, нетабличной информации, с соответствующими средствами доступа;

- хранилище геопространственных данных обеспечивает ввод, хранение, изменение и доступ к геопространственным данным, веб-сервисы;

- геоинформационный интернет-портал решает задачи информационного взаимодействия, авторизованного доступа к данным через каталог информационных ресурсов. Он содержит список организаций и участников проекта, обеспечивает рассылки новостей и объявлений, поддерживает документооборот в рамках выполнения проекта;

- аналитические приложения и сервисы геоинформационного интернет-портала решают задачи моделирования, оперативного представления информации о качестве природной среды по согласованному перечню параметров и пр.

Выполненная реализация системы содержит два базовых интерфейса: модуль для администрирования (рис. 1) и программное обеспечение конечного пользователя [4].

Информация организована в виде тематического древовидного каталога ресурсов. Разделами этого каталога являются документы системы, среди которых имеются гипертекстовые страницы (рис. 2), интерактивные карты, рубрикаторы и др. В частности, элементами каталога могут быть документы в pdf-формате. Документы системы тесно взаимоувязаны перекрестными гиперссылками (аналогично традиционным веб-страницам). Если раздел содержит подразделы, то выводится список подразделов (дерево в левой части экрана). Для картографических каталогов при выборе нужного раздела появляется список карт. При выборе нужной карты отображается интерфейс просмотра карт, содержащий панель инструментов, легенду и саму карту.

В интерфейсе предусмотрены различные операции с данными. Каждый элемент этого древовидного каталога может иметь уникальные права доступа на чтение и модификацию; по умолчанию эти права наследуются с раздела верхнего уровня.

В процессе работы в клиентском интерфейсе может быть открыто несколько вкладок с документами (мультимедийный интерфейс), в том числе вкладка с картой (рис. 3). Легенда карты – активная: при выборе одного из слоев карты в легенде становится доступным инструмент «Указатель», который по щелчку мыши выбирает объект и обеспечивает визуализацию окна с его свойствами (таблица значений). Можно также открыть таблицу активного слоя целиком.

Созданное программное обеспечение ИГИС построено на основе свободно распространяемых технологий и программного обеспечения. Для хранения данных используется СУБД PostgreSQL 8.x с ГИС-модулем PostGIS. Основным программным языком для разработки выбран язык сценариев PHP 5.x. В системе были использованы ряд программных библиотек и модулей: Ext2js, TinyMCE, HTML_MetaForm, Smarty, PEAR, Zend Framework и др.

В геопространственной базе данных используется комплекс программных средств MapGuide Open Source, основой которого является собственное хранилище геопространственных данных. Он допускает использование различных внешних источников – от стандартных shape-файлов ArcView до специализированных баз данных, име-

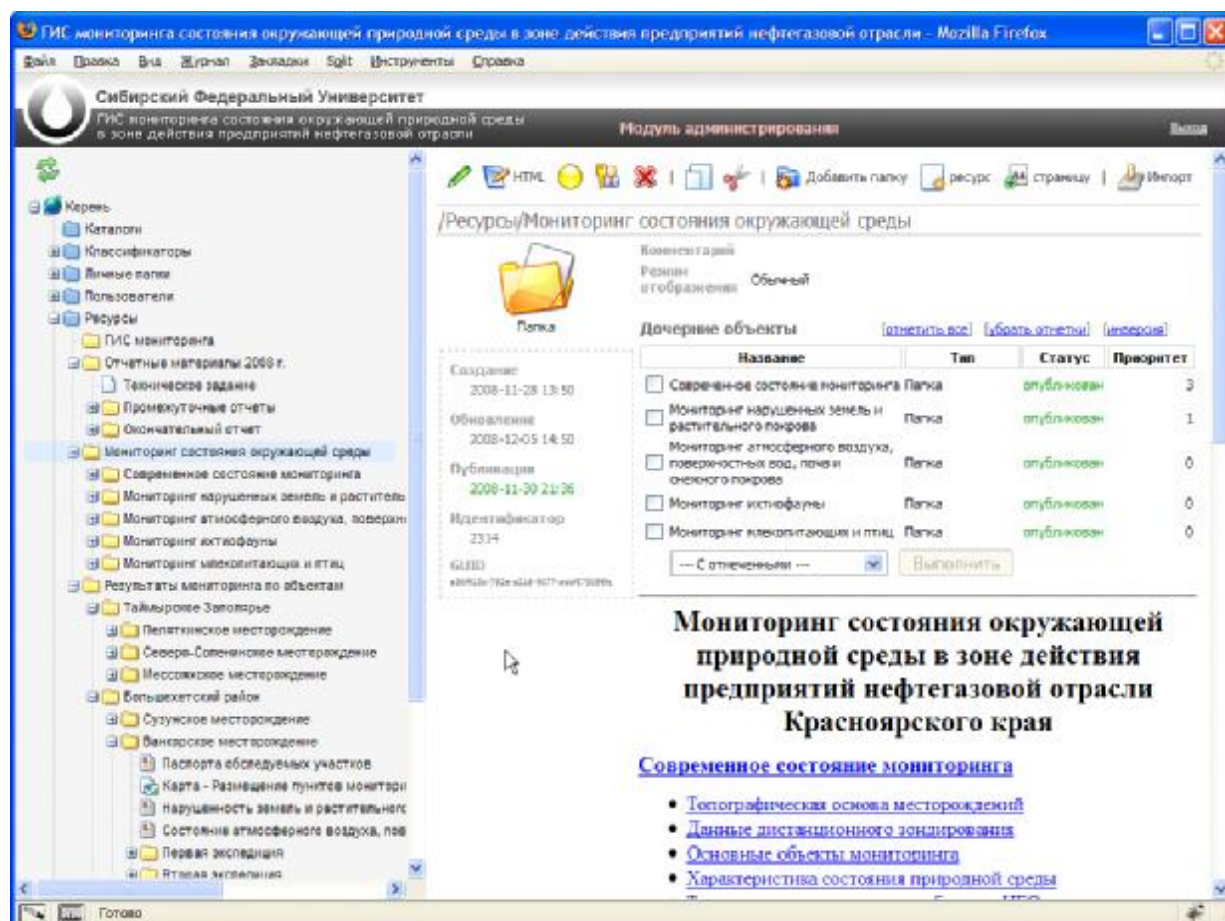


Рис. 1. Настройка параметров документа ИГИС в интерфейсе администратора

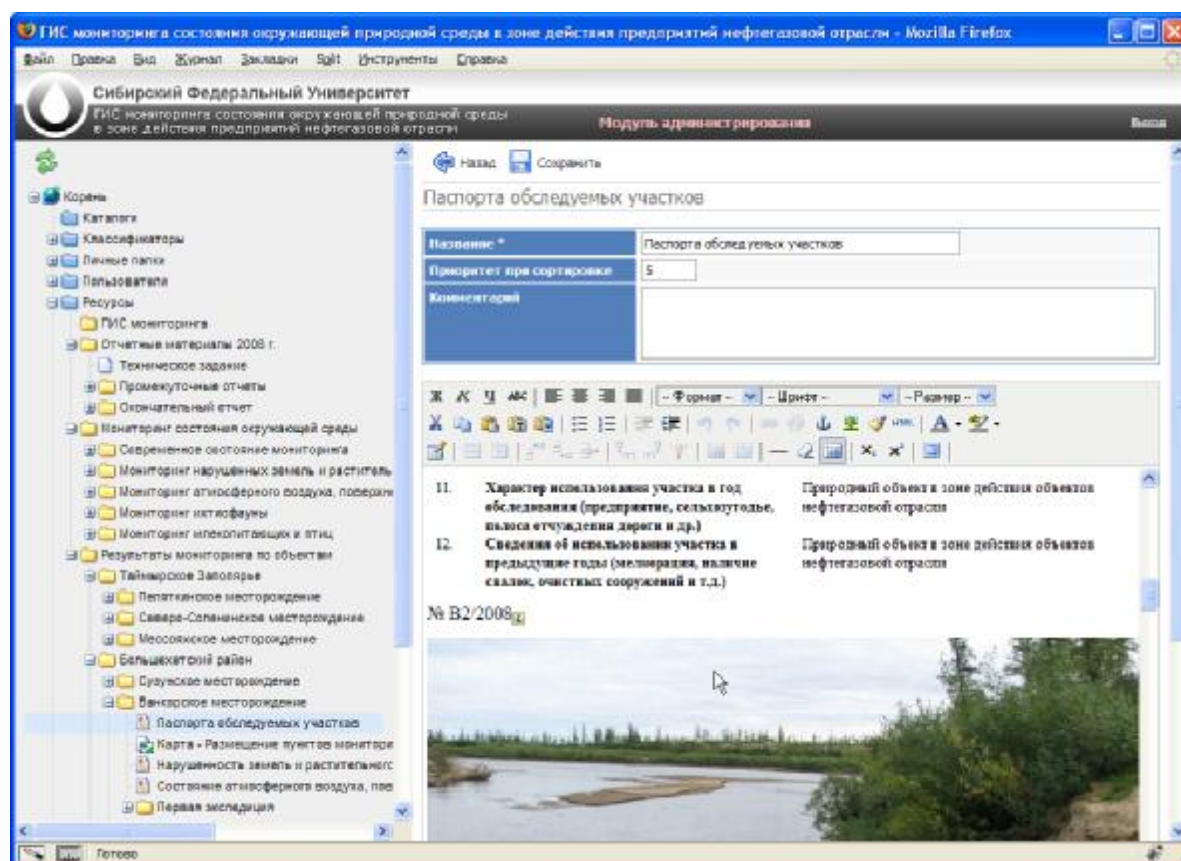


Рис. 2. Интерфейс редактирования данных (на примере пункта экологического мониторинга)

ющих поддержку работы с геоинформацией (Oracle Spatial, PostGIS, ArcSDE, и т. д.). Комплекс MapGuide Open Source предоставляет развитые средства формирования тематических карт и шаблонов веб-приложений, для чего применяются инструментальные программные средства MapGuide WebStudio и MapGuide Maestro.

В процессе создания ИГИС было сформировано несколько десятков тематических разделов и около десятка карт. Работы по развитию системы продолжаются и в настоящее время.

Таким образом, одним из результатов первого этапа работ по мониторингу состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли Красноярского края стала разработка интегрированной информационной программно-технической системы мониторинга, способной оперативно анализировать текущую информацию о нефтегазовых объектах [5]. Ее информационное наполнение включает базу данных «Состояние окружающей среды в районах размещения объектов НГО Красноярского края» и цифровые модели местности открытого пользования на основе цифровых топографических карт, интегрированной геоинформационной системы мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий НГО на первоочередных участках Большехэтского, Юрубчено-Тохомского, Собино-Тэтеринского, Нижнеангарского районов и Таймырского Заполярья, а также пакет карт современной ланд-

шафтной структуры территорий размещения объектов НГО и антропогенной трансформации ландшафтов.

Реализация системы основана на открытом и свободном программном обеспечении ГИС. Предполагается дальнейшее развитие системы.

Библиографические ссылки

1. Формирование геоинформационного интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов / А. А. Кадочников, В. Г. Попов, А. В. Токарев, О. Э. Якубайлик // Жур. Сиб. федер. ун-та. Серия «Техника и технологии». 2008. Т. 1, № 4. С. 377–386.
2. Якубайлик О. Э., Кадочников А. А. Разработка комплекса программно-технологических решений для геоинформационного портала // Вычисл. технологии. 2008. Т. 13 : Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. 2008. № 3 (58) : совм. вып. Ч. II. С. 196–202.
3. Якубайлик О. Э. Геоинформационный интернет-портал // Вычисл. технологии. 2007. Т. 12. Вып. 3. С. 117–126.
4. ГИС мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли Красноярского края : [веб-портал]. URL: <http://ecomonitoring.sfu-kras.ru/>.
5. Мониторинг состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли : науч.-техн. отчет / Сиб. федер. ун-т ; науч. рук. Ваганов Е. А. ; исполн.: Васильев В. Г. [и др.]. Красноярск, 2008.

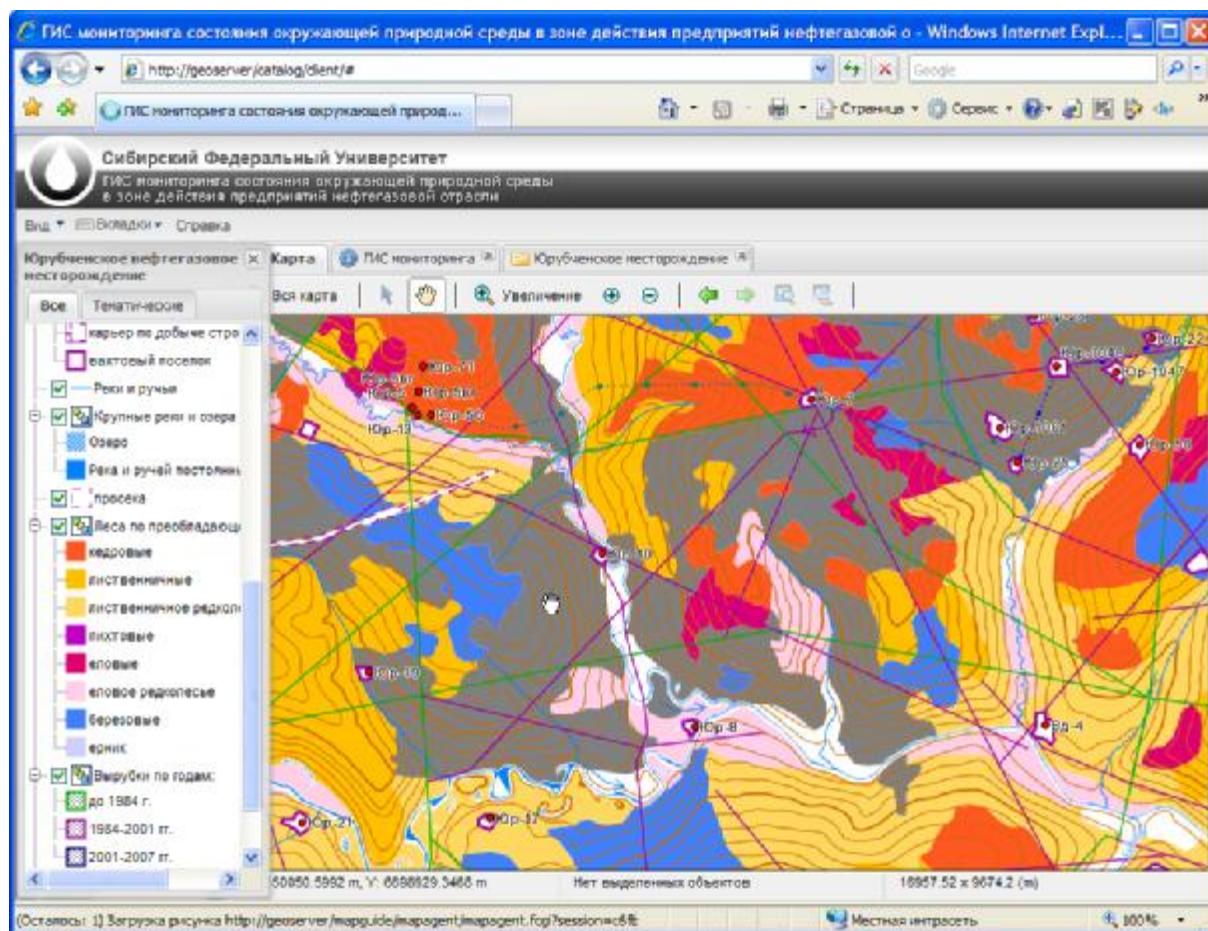


Рис. 3. Картографический веб-интерфейс системы (на примере распределения лесов по преобладающим породам)

О. Е. Yakubailik

GEOINFORMATION INTERNET SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE PRODUCTIVE ACTIVITY AREA OF OIL AND GAS INDUSTRY ENTERPRISES

The problems of design and implementation of geoinformation Internet system for environmental monitoring in the productive activity area of oil and gas industry enterprises in Krasnoyarsk region are considered. They include the organization of the technological environment for integration of information resources formed in the process of monitoring, the solution of problems of users' informational interaction, the creation of centralized geospatial database, a set of web interfaces and services for information visualization and analytical processing, applied software. This system realization is based on free and open GIS software.

Keywords: GIS, environmental monitoring, geoinformation Internet server, web-mapping, geospatial data.

© Якубайлик О. Э., 2010

УДК 621.833

К. Я. Иванов, Н. И. Галибей

ЗУБЧАТЫЕ ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ РЕДУКТОРЫ. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Рассмотрены оптимизация основных параметров коническо-цилиндрического редуктора и выбор оптимальной схемы зубчатого двухступенчатого редуктора на основе методик расчета, разработанных на кафедре прикладной механики Сибирского государственного технологического университета.

Ключевые слова: редуктор, двухступенчатый редуктор, оптимизация структурной схемы редуктора.

Основной задачей при проектировании зубчатых редукторов является разработка конструктивных условий формирования параметров ступеней и передаточного отношения каждой ступени. Разбивка общего передаточного отношения редуктора зависит от требований, которые предъявляются к данной конструкции.

Критериями оптимизации наиболее часто выступают стоимость конструкции, минимальные габаритные

размеры, минимальная масса, минимальный приведенный момент инерции редуктора, минимальная кинематическая погрешность редуктора.

Рассмотрим методику определения оптимальных параметров коническо-цилиндрического редуктора (рис. 1). Основным условием работоспособности редуктора является условие контактной прочности колес, которое одновременно предусматривает минимальную массу. По-

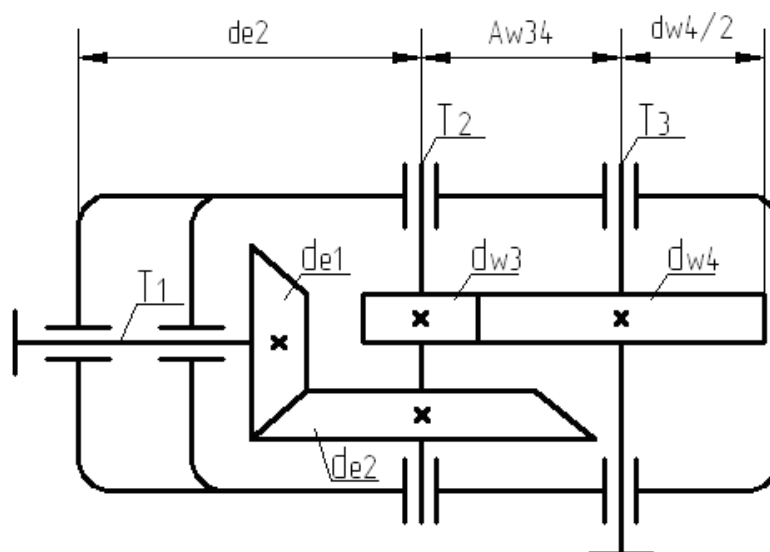


Рис. 1. Схема коническо-цилиндрического редуктора (обозначения см. в тексте)

этому металлоемкость и стоимость редуктора будут зависеть от габаритных размеров редуктора: длины L , высоты H и ширины B .

Необходимо учитывать, что на величину оптимального передаточного отношения ступени оказывают непосредственное влияние такие параметры, как коэффициент ширины зубчатого венца цилиндрической передачи ψ_{ba} , коэффициент ширины зубчатого венца конической передачи ψ_{bre} , контактное напряжение колес $[\sigma_H]$. Поэтому выбор достаточно обоснованных значений параметров коническо-цилиндрических редукторов является довольно сложной задачей.

Длина коническо-цилиндрического редуктора (см. рис. 1) определяется по зависимости

$$L = d_{e2} + A_{w34} + \frac{d_{w4}}{2}, \quad (1)$$

где d_{e2} – внешний делительный диаметр колеса конической передачи; A_{w34} – межосевое расстояние цилиндрической передачи; d_{w4} – диаметр делительной окружности колеса цилиндрической передачи.

По условию контактной прочности зубчатых колес межосевое расстояние цилиндрической передачи A_{w34} и внешний делительный диаметр колеса конической передачи d_{e2} определяются по следующим формулам:

$$A_{w34} = K_a (i_{34} + 1) \sqrt[3]{\frac{T_3 \cdot K_{H\beta 34}}{\psi_{ba} [\sigma_H]_{34}^2 \cdot i_{34}^2}}, \quad (2)$$

где K_a – коэффициент, зависящий от свойств материала и типа передачи; T_3 – момент на валу T_3 ; $K_{H\beta 34}$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по ширине венца цилиндрической передачи; i_{34} – передаточное отношение цилиндрической передачи; ψ_{ba} – коэффициент ширины зубчатого венца по межосевому расстоянию цилиндрической передачи; $[\sigma_H]_{34}$ – допускаемое контактное напряжение колеса цилиндрической передачи;

$$d_{e2} = K_d \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_{H\beta 12} \cdot i_{12}}{\psi_{bre} [\sigma_H]_{12}^2 (1 - 0,5 \cdot \psi_{bre})^2}}, \quad (3)$$

где K_d – коэффициент, учитывающий тип передачи и свойства материала; T_2 – момент на валу T_2 ; $K_{H\beta 12}$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по ширине венца конической передачи; i_{12} – передаточное отношение конической передачи; ψ_{bre} – коэффициент ширины зубчатого венца конической передачи; $[\sigma_H]_{12}$ – допускаемое контактное напряжение колеса конической передачи.

Введем следующее обозначение для соотношений колес ступеней:

$$S_\sigma = \frac{[\sigma_H]_{12}}{[\sigma_H]_{34}}. \quad (4)$$

С учетом принятых обозначений и формул выражение (1) после соответствующих преобразований примет вид

$$L = a_0 \left[a_1 \sqrt[3]{\frac{1}{i_{34}^2}} + a_2 \sqrt[3]{\frac{1}{i_{34}^2} (2 \cdot i_{34} + 1)} \right], \quad (5)$$

где $a_0 = \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot i_{общ} \cdot \eta_{12}}{[\sigma_H]_{34}^2}}$; $a_1 = K_d \sqrt[3]{\frac{K_{H\beta 12} \cdot i_{общ}}{\psi_{bre} \cdot S_\sigma^2 (1 - 0,5 \cdot \psi_{bre})^2}}$;

$$a_2 = K_a \sqrt[3]{\frac{K_{H\beta 34} \cdot \eta_{34}}{\psi_{ba}}}.$$

Эта зависимость показывает, что длина редуктора зависит от разбивки передаточного отношения по ступеням и минимальная длина редуктора $L_{\min}$ будет при

$$i_{34} = \frac{a_1 + a_2}{a_2}. \quad (6)$$

Таким образом, на величину оптимальной разбивки передаточного отношения оказывают влияние соотношение S_σ и параметры ψ_{ba} и ψ_{bre} . При изменении ширины колес и материалов каждый раз меняются передаточные отношения ступеней и, следовательно, длина редуктора. Оценить это влияние можно с помощью разработанной авторами программы «Система автоматизированного проектирования электромеханического привода. Проектирование коническо-цилиндрического редуктора с оптимальными параметрами САПР-9» (рис. 2).

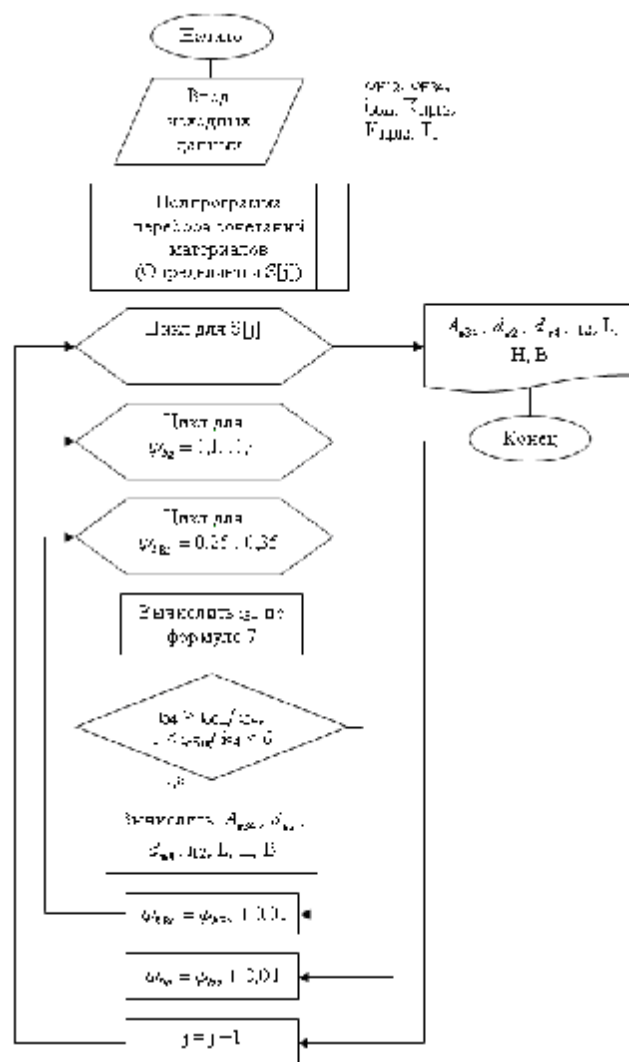


Рис. 2. Алгоритм программы

Вводятся следующие параметры:

- массив материалов для колес с различными допускаемыми контактными напряжениями;
- общее передаточное отношение редуктора $i_{общ}$;
- коэффициенты неравномерности распределения нагрузки $K_{H\beta 12}$ и $K_{H\beta 34}$;
- крутящий момент на входе редуктора T_1 .

Внутри программы организованы три цикла:

– цикл «Цикл для $S[j]$ » перебирает варианты сочетаний материалов, которые передаются из подпрограммы перебора сочетаний материалов;

– цикл «Цикл для $\psi_{ba} = 0,1 \dots 0,4$ » перебирает значения параметра в указанном диапазоне с шагом 0,01;

– цикл «Цикл для $\psi_{bre} = 0,25 \dots 0,35$ » перебирает значения параметра в указанном диапазоне с шагом 0,01.

Далее все значения параметров подставляются в формулу (6) для вычисления оптимального значения передаточного отношения i_{34} , которое проверяется по критериям, указанным в блоке сравнения.

Если i_{34} удовлетворяет этим критериям, то проводятся расчеты L (по формуле (5)), H , B , A_{w34} , d_{e2} , d_{w4} . Из этих расчетов формируется массив, из которого выбираются и выводятся на экран оптимальные варианты по длине редуктора L и объему его внутренней полости V .

Если i_{34} не удовлетворяет критериям, то программа переходит к следующему шагу.

Анализ рассчитанных вариантов редукторов позволяет выбрать наиболее оптимальные значения параметров обеих ступеней.

На кафедре прикладной механики Сибирского государственного технологического университета помимо методики, приведенной выше, разработаны методики по расчету оптимальных конструкций цилиндрических двухступенчатых и планетарных редукторов. По данным методикам разработано программное обеспечение, используя которое, можно провести анализ конструкций всех перечисленных выше редукторов при одинаковых входных параметрах, и выбрать наиболее оптимальные конструкции как по длине, так и по объему внутренней полости редуктора.

Приведем пример по выбору оптимальной схемы для редуктора при заданных входных параметрах.

Зададим входные параметры для проведения расчета (табл. 1): $i_{общ}$ – общее передаточное отношение редуктора; T – момент на тихоходном валу редуктора, Н·м; Материал/термообработка – материал и термообработка колес и шестерен редуктора; σ_H – допускаемое контактное напряжение зубьев колес и шестерен редуктора, Н·мм²; $K_{H\beta}$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине контактных линий в результате погрешностей в зацеплении и деформации зубьев.

Введем эти параметры в программу и произведем расчет.

Варианты расчетов отсортируем по минимальной длине L_{min} и минимальному объему внутренней полости V_{min} редуктора и выведем в виде таблиц (табл. 2, 3 и 4).

Анализируя полученные данные, мы можем видеть, как произошла разбивка передаточного отношения между ступенями, ширину зубчатого венца первой и второй ступени и главное – геометрические размеры самого редуктора. В результате можно сделать вывод, что при входных параметрах, указанных в табл. 1, оптимальным по длине L и объему внутренней полости V будет планетарный четырехколесный редуктор с одним внешним и одним внутренним зацеплением.

Таким образом, представленное программное обеспечение позволяет с очень большой точностью определять оптимальную схему редуктора по длине и объему внутренней полости.

Таблица 1

Входные параметры для расчета оптимальных конструкций редукторов

$i_{общ}$	T , Н·м	Материал/термообработка	σ_H , Н·мм ²	$K_{H\beta}$
20	940	45/ТВЧ	800	1,0

Таблица 2

Параметры коническо-цилиндрического редуктора

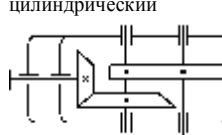
Тип редуктора	Материал/ термо- обработка колес и шестерен	σ_{H_2} , Н·М ²	i_{12}	i_{34}	d_{e2} , мм	a_{w34} , мм	b_{12} , мм	b_{34} , мм	L , мм	B , мм	H , мм	V , мм ³
Коническо-цилиндрический 	L_{min}											
	45/ТВЧ	800	2,66	7,52	129,75	169,56	30,93	67,82	449	128	335	19 253 120
	V_{min}											
	45/ТВЧ	800	2,51	7,95	134,44	173,11	22,49	67,51	461	116	343	18 342 268

Таблица 3

Параметры цилиндрического двухступенчатого редуктора по развернутой и соосной схемам

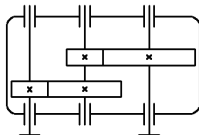
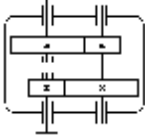
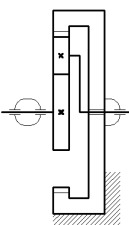
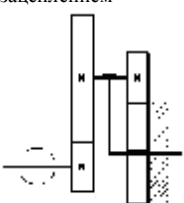
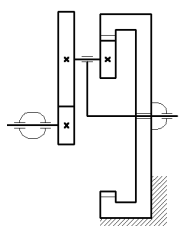
Тип редуктора	Материал/ термо- обработка колес и шестерен	$\sigma_{H,2}$ Н·мм ²	i_{12}	i_{34}	a_{w12} , мм	a_{w34} , мм	Ψ_{ba12} , мм	Ψ_{ba34} , мм	L , мм	B , мм	H , мм	V_3 , мм ³
По развернутой схеме 	L_{min}											
	45/ТВЧ	800	5,71	3,5	120,74	152,39	0,28	0,392	410	–	–	9 087 719
	V_{min}											
	45/ТВЧ	800	5,15	3,89	161,41	184,31	0,1	0,23	519	–	–	8 899 332
По соосной схеме 	L_{min}											
	45/ТВЧ	800	7,25	2,76	148,65	–	0,22	0,396	388	–	–	9 291 183
	V_{min}											
	45/ТВЧ	800	4,87	4,11	157,05	–	0,1	0,38	414	–	–	8 125 736

Таблица 4

Параметры планетарных редукторов

Тип редуктора	Материал/ термо- обработка колес и шестерен	$\sigma_{H,2}$ Н·мм ²	i_{12}	i_{34}	a_w , мм	n_k	$m_{12}/$ m_{34}	z_3/z_2	Ψ_{ba12} , мм	Ψ_{ba34} , мм	B , мм	L , мм	H , мм	V_3 , мм ³
Трехколесный 	L_{min}													
	45/ТВЧ	800	9	2,11	123,08	2	–	–	0,4	–	148	561	–	46 518 976
	V_{min}													
	45/ТВЧ	800	9	2,11	195,37	2	–	–	0,1	–	59	891	–	46 518 331
Четырехколесный с внешним зацеплением 	L_{min}													
	45/ТВЧ	800	5	4,2	117,22	3	1,3	0,3	0,1	0,387	57	430	–	10 556 617
	V_{min}													
	45/ТВЧ	800	5	4,2	117,22	3	1,3	0,3	0,1	0,387	57	430	–	10 556 617
Четырехколесный с одним внешним и одним внутренним зацеплением 	L_{min}													
	45/ТВЧ	800	4,29	4,42	71,67	3	1,25	0,45	0,35	0,395	53	260	–	3 597 430
	V_{min}													
	45/ТВЧ	800	4,41	4,31	110,16	3	1,35	0,5	0,1	0,104	22	400	–	3 586 092

K. Ya. Ivanov, N. I. Galibei

TWO-STAGE GEAR REDUCERS. THE CHOICE OF OPTIMAL SCHEME

The optimization of basic parameters of a right-angle parallel-shaft reducer and the choice of the optimal scheme of a two-stage gear reducer on the basis of calculation methods developed at the Department of Applied Mechanics of Siberian State Technological University are considered.

Keywords: gear reducer; two-stage gear reducer; optimization of a structural scheme of a gear reducer.

© Иванов К. Я., Галибей Н. И., 2010

УДК 519.872, 519.21

А. А. Назаров, М. Г. Носова

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВИДЕ ПЯТИФАЗНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ*

Предложена математическая модель процесса изменения демографической ситуации в виде пятифазной автономной системы массового обслуживания с неограниченным числом приборов. Ее исследование выполнено методом моментов. Найдены первые и вторые моменты числа заявок, обслуживаемых в системе. Разработанная модель и метод применяются к прогнозированию процесса изменения демографической ситуации в Российской Федерации.

Ключевые слова: система массового обслуживания, демографическая ситуация, численность населения.

В последние годы в результате экономических и политических изменений в нашей стране возросла потребность в построении научно обоснованных демографических прогнозов. Одним из методов демографического прогнозирования является разработка и исследование математических моделей, в частности применение моделей и методов теории массового обслуживания для моделирования демографических процессов.

В данной статье в качестве математической модели процесса изменения численности женского населения, например женщин Российской Федерации, рассматривается функционирование пятифазной автономной системы массового обслуживания (СМО) с неограниченным числом приборов.

Определим процесс функционирования такой СМО. Будем полагать, что продолжительность обслуживания f каждой заявки складывается из пяти фаз:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5.$$

Здесь все τ_i – независимые и экспоненциально распределенные случайные величины с параметрами μ_i , характеризующими продолжительности фаз обслуживания, $i = 1 \dots 5$.

Поскольку интенсивность рождаемости существенно зависит от возраста женщин, то целесообразно рассматривать $b(t)$ – интенсивность репродукции как функцию,

зависимую от возраста женщины. Для указания такой зависимости рассмотрим систему, в которой три фазы соответствуют различным этапам репродуктивного возраста женщин.

Будем считать, что для заявок, находящихся на обслуживании, на второй, третьей и четвертой фазах возможно генерирование новых требований. Интенсивности генерирования новых заявок равны соответственно $b_2(t)$, $b_3(t)$ и $b_4(t)$. Интенсивности репродукции на первой и пятой фазах будем считать равными нулю, т. е. $b_1(t) = 0$, $b_5(t) = 0$. Поскольку случайные величины τ_i распределены экспоненциально, то средняя продолжительность i -й фазы составляет $1/\mu_i$, $i = 1 \dots 5$. Тогда интенсивность репродукции на i -й фазе запишем в виде

$$b_i(t) = 0,488 \bar{b}_i(t) \mu_i,$$

где $\bar{b}_i(t)$ – суммарный коэффициент рождаемости в момент t [1]; 0,488 – вероятность рождения девочки; $i = 1 \dots 5$. Обслуживание каждой новой заявки начинается на первой фазе. Заявка, завершив обслуживание на i -й фазе, с вероятностью r_i переходит к обслуживанию на $i + 1$ -ю фазу, а с вероятностью $1 - r_i$ завершает свое обслуживание и покидает систему, $i = 1 \dots 4$. С вероятностью 1 после пятой фазы завершается полное обслуживание заявки.

Поскольку в рассматриваемой системе массового обслуживания отсутствует внешний источник заявок, так

* Работа выполнена при поддержке АВИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.)» Федерального агентства по образованию РФ по проекту «Разработка методов исследования немарковских систем массового обслуживания и их применения к сложным экономическим системам и компьютерным сетям связи».

как все новые заявки генерируются требованиями, находящимися на обслуживании, а время обслуживания заявок состоит из фаз, то такую систему будем называть автономной системой с фазовым распределением, или РН-распределением времени обслуживания.

В терминах демографии под заявкой подразумевается женщина, репродуктивные вторая, третья и четвертая фазы составляют репродуктивный возраст женщины [1], а время обслуживания в системе – продолжительность ее жизни.

Обозначим через $n_i(t)$ число заявок, обслуживаемых на i -й фазе в момент времени t . Тогда случайный процесс

$$n(t) = \{n_1(t), n_2(t), n_3(t), n_4(t), n_5(t)\}^T$$

является пятимерной цепью Маркова с непрерывным временем. В терминах демографии $n_i(t)$ определяет численность женщин на фазе i , $i = 1 \dots 5$, т. е. в i -й возрастной группе.

Задача исследования данной математической модели состоит в нахождении наиболее важных числовых характеристик

$$P(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, t) = P\{n_1(t) = n_1, n_2(t) = n_2, n_3(t) = n_3, n_4(t) = n_4, n_5(t) = n_5\},$$

из которых определим первые и вторые моменты.

Для этого распределения запишем систему дифференциальных уравнений Колмогорова [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \{P(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, t)\} = & -P(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, t) \{n_1 \mu_1 + \sum_{i=2}^4 n_i (b_i(t) + \mu_i)\} + \\ & + P(n_1 - 1, n_2, n_3, n_4, n_5, t) \sum_{i=2}^4 n_i b_i(t) + (n_1 + 1) \mu_1 \times \\ & \times \{P(n_1 + 1, n_2, n_3, n_4, n_5, t) (1 - r_1) + \\ & + P(n_1 + 1, n_2 - 1, n_3, n_4, n_5, t) r_1\} + (n_2 + 1) \mu_2 \times \\ & \times \{P(n_1, n_2 + 1, n_3, n_4, n_5, t) (1 - r_2) + \\ & + P(n_1, n_2 + 1, n_3 - 1, n_4, n_5, t) r_2\} + (n_3 + 1) \mu_3 \times \\ & \times \{P(n_1, n_2, n_3 + 1, n_4, n_5, t) (1 - r_3) + \\ & + P(n_1, n_2, n_3 + 1, n_4 - 1, n_5, t) r_3\} + (n_4 + 1) \mu_4 \times \\ & \times \{P(n_1, n_2, n_3, n_4 + 1, n_5, t) (1 - r_4) + \\ & + P(n_1, n_2, n_3, n_4 + 1, n_5 - 1, t) r_4\} + \\ & + (n_5 + 1) \mu_5 P(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 + 1, t). \end{aligned} \quad (1)$$

Обозначим характеристическую функцию числа обслуживаемых заявок в пятифазной системе массового обслуживания в момент времени t в виде

$$\begin{aligned} H(u, t) = & \sum_{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5} P(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, t) \exp\{j \sum_{i=1}^5 u_i n_i\}, \\ \text{где } j = \sqrt{-1} - \text{мнимая единица; } u = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}^T - & \text{пятимерный вектор. Характеристическая функция } H(u, t) \text{ является функцией векторного аргумента } u \text{ и скалярного аргумента } t. \end{aligned}$$

Умножим (1) на $\exp\{j(u_1 n_1 + u_2 n_2 + u_3 n_3 + u_4 n_4 + u_5 n_5)\}$ и просуммируем по n_1, n_2, n_3, n_4 и n_5 . Получим уравнение для характеристической функции $H(u, t)$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H(u, t)}{\partial t} = & j \frac{\partial H(u, t)}{\partial u_1} \mu_1 \times \\ & \times \{1 - e^{-j u_1} (1 - r_1) - e^{-j u_1} e^{j u_2} r_1\} + \\ & + j \sum_{i=2}^4 \frac{\partial H(u, t)}{\partial u_i} \{b_i(t) (1 - e^{j u_i}) + \\ & + \mu_i (1 - e^{-j u_i}) + \mu_i e^{-j u_i} r_i (1 - e^{j u_{i+1}})\} + j \frac{\partial H(u, t)}{\partial u_5} \mu_5 \{1 - e^{-j u_5}\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для нахождения числовых характеристик такой системы массового обслуживания применим метод моментов [2].

Известно, что производная k -го порядка в нуле от характеристической функции равна начальному моменту k -го порядка, умноженному на k -ю степень мнимой единицы [3]. Используя этот факт, найдем моменты первого и второго порядков для числа обслуживаемых заявок в рассматриваемой СМО.

Подставим в уравнение (2) его решение и продифференцируем полученное тождество поочередно по u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 . Обозначив

$$\left. \frac{\partial H(u, t)}{\partial u_i} \right|_{u_1=0, u_2=0, u_3=0, u_4=0, u_5=0} = j z_i(t), \quad i = \overline{1, 5},$$

получим следующую систему пяти обыкновенных дифференциальных уравнений, определяющую компоненты $z_i(t)$ вектора $z(t) = \{z_1(t), z_2(t), z_3(t), z_4(t), z_5(t)\}^T$:

$$\begin{cases} z_1'(t) = -\mu_1 z_1(t) + b_2(t) z_2(t) + b_3(t) z_3(t) + b_4(t) z_4(t), \\ z_2'(t) = \mu_1 r_1 z_1(t) - \mu_2 z_2(t), \\ z_3'(t) = \mu_2 r_2 z_2(t) - \mu_3 z_3(t), \\ z_4'(t) = \mu_3 r_3 z_3(t) - \mu_4 z_4(t), \\ z_5'(t) = \mu_4 r_4 z_4(t) - \mu_5 z_5(t). \end{cases} \quad (3)$$

Функция $z(t)$ в терминах теории массового обслуживания определяет среднее значение числа заявок, обслуживаемых в системе в момент времени t , а в терминах демографии имеет смысл среднего значения численности женского населения в каждой возрастной группе, определяемой номером фазы.

При $b_i(t) = b_i$ система (3) является линейной системой с постоянными коэффициентами [4]. Особенность этой системы заключается в том, что она распадается на две подсистемы, которые нужно решать последовательно. Аналитическое решение данной системы не представляет затруднения: нахождение собственных значений матрицы коэффициентов приводит к алгебраическому уравнению четвертой степени с комплексно сопряженными корнями. Численное решение выполним ниже при конкретных значениях параметров μ_i, r_i и $b_i(t) = b_i$.

Для нахождения моментов второго порядка продифференцируем второй раз поочередно по u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 равенство (2) и, обозначая

$$\left. \frac{\partial^2 H(u, t)}{\partial u_i^2} \right|_{u_1=0, u_2=0, u_3=0, u_4=0, u_5=0} = j^2 d_i(t),$$

$$\left. \frac{\partial^2 H(u, t)}{\partial u_i \partial u_j} \right|_{u_1=0, u_2=0, u_3=0, u_4=0, u_5=0} = j^2 d_{ij}(t),$$

где $d_i(t)$ – второй начальный момент величины $n_i(t)$; $d_{ij}(t)$ – второй смешанный начальный момент величин $n_i(t)$ и $n_j(t)$, $i = 1...5, j = 1...5$, получим систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} d_1'(t) &= -2\mu_1 d_1(t) + 2 \sum_{i=2}^4 d_{1i}(t) b_i(t) + \\ &+ \sum_{i=2}^4 b_i(t) z_i(t) + \mu_1 z_1(t), \\ d_2'(t) &= -2\mu_2 d_2(t) + 2d_{12}(t) \mu_1 r_1 + \mu_1 r_1 z_1(t) + \mu_2 z_2(t), \\ d_3'(t) &= -2\mu_3 d_3(t) + 2d_{23}(t) \mu_2 r_2 + \mu_2 r_2 z_2(t) + \mu_3 z_3(t), \\ d_4'(t) &= -2\mu_4 d_4(t) + 2d_{34}(t) \mu_3 r_3 + \mu_3 r_3 z_3(t) + \mu_4 z_4(t), \\ d_5'(t) &= -2\mu_5 d_5(t) + 2d_{45}(t) \mu_4 r_4 + \mu_4 r_4 z_4(t) + \mu_5 z_5(t), \\ d_{12}'(t) &= -(\mu_1 + \mu_2) d_{12}(t) + d_1(t) \mu_1 r_1 + \\ &+ \sum_{i=2}^4 d_{2i}(t) b_i(t) - \mu_1 r_1 z_1(t), \\ d_{13}'(t) &= -(\mu_1 + \mu_3) d_{13}(t) + d_{12}(t) \mu_2 r_2 + \sum_{i=2}^4 d_{i3}(t) b_i(t), \\ d_{14}'(t) &= -(\mu_1 + \mu_4) d_{14}(t) + d_{13}(t) \mu_3 r_3 + \sum_{i=2}^4 d_{i4}(t) b_i(t), \\ d_{15}'(t) &= -(\mu_1 + \mu_5) d_{15}(t) + d_{14}(t) \mu_4 r_4 + \sum_{i=2}^4 d_{i5}(t) b_i(t), \quad (4) \\ d_{23}'(t) &= -(\mu_2 + \mu_3) d_{23}(t) + \\ &+ d_{13}(t) \mu_1 r_1 + d_{22}(t) \mu_2 r_2 - \mu_2 r_2 z_2(t), \\ d_{24}'(t) &= -(\mu_2 + \mu_4) d_{24}(t) + d_{14}(t) \mu_1 r_1 + d_{23}(t) \mu_3 r_3, \\ d_{25}'(t) &= -(\mu_2 + \mu_5) d_{25}(t) + d_{15}(t) \mu_1 r_1 + d_{24}(t) \mu_4 r_4, \\ d_{34}'(t) &= -(\mu_3 + \mu_4) d_{34}(t) + d_{33}(t) \mu_3 r_3 + d_{24}(t) \mu_2 r_2 - \mu_3 r_3 z_3(t), \\ d_{35}'(t) &= -(\mu_3 + \mu_5) d_{35}(t) + d_{34}(t) \mu_4 r_4 + d_{25}(t) \mu_2 r_2, \\ d_{45}'(t) &= -(\mu_4 + \mu_5) d_{45}(t) + \\ &+ d_{35}(t) \mu_3 r_3 + d_{44}(t) \mu_4 r_4 - \mu_4 r_4 z_4(t), \end{aligned}$$

Очевидно, что $d_{ij}(t) = d_{ji}(t)$, $i = 1...5, j = 1...5$.

Решение системы (4) нетрудно выполнить при конкретных значениях параметров m_i, r_i и $b_i(t) = b_i$.

Применим предложенную математическую модель в виде автономной системы с РН-распределением времени обслуживания к исследованию демографической ситуации в Российской Федерации.

Предположим, что продолжительность жизни женщины условно можно разделить на пять фаз: средняя продолжительность первой фазы 15 лет, второй фазы – 5 лет, третьей фазы – 10 лет, четвертой фазы – 15 лет и пятой фазы – 30 лет. Поскольку продолжительности фаз τ_i – независимые и экспоненциально распределенные случайные величины с параметрами μ_i , то тогда

$$\mu_1 = \frac{1}{15}, \mu_2 = \frac{1}{5}, \mu_3 = \frac{1}{10}, \mu_4 = \frac{1}{15}, \mu_5 = \frac{1}{30}.$$

Вторая, третья и четвертая фазы жизни составляют репродуктивный возраст женщины.

Начальной точкой будем считать 2005 г. Исходя из предположений относительно динамики суммарного коэффициента рождаемости, можно сделать прогнозную оценку демографической ситуации. Согласно данным Российского статистического ежегодника [5], суммарный коэффициент рождаемости в 2005 г. составлял 1,287. В последние годы по причине активно проводимой социальной

политики ожидается его повышение до значения 2,2. Для построения оптимистического сценария демографической ситуации положим значение суммарного коэффициента рождаемости 2,2 на всем интервале прогнозирования от 2005 до 2105 гг. Тогда, сохраняя пропорциональность коэффициента рождаемости, можно записать

$$b_2(t) = b_2 = 0,488 \cdot 0,236 \cdot \mu_2 = 0,023,$$

$$b_3(t) = b_3 = 0,488 \cdot 1,409 \cdot \mu_3 = 0,069,$$

$$b_4(t) = b_4 = 0,488 \cdot 0,568 \cdot \mu_4 = 0,018.$$

Будем полагать, что $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1$. Согласно данным [5], в начальный момент времени $t_{2005} = 0$ имеем следующие начальные условия:

$$m_1(0) = 10,679, \quad m_2(0) = 6,017, \quad m_3(0) = 11,509,$$

$$m_4(0) = 15,933, \quad m_5(0) = 32,733,$$

где $m_i(t)$, $i = 1...5$ – численность женщин соответствующей возрастной группы, млн чел.

При данных значениях параметров модели система (3) решена в пакете MathCAD, тем самым построен сценарий изменения численности женщин в каждой возрастной группе на долгосрочную перспективу (до 2105 г.) (см. рисунок). Заметим, что, используя решение системы (4), можно найти вторые начальные моменты в долгосрочной перспективе до 2105 г., из которых затем получить значения дисперсий и среднеквадратических отклонений.



Динамика суммарной численности женщин до 2105 г.

Анализ графика показывает, что при таком предположении о суммарном коэффициенте рождаемости численность женского населения России возрастает. Это означает, что в России необходимо продолжать развитие социальных программ, целью которых является увеличение суммарного коэффициента рождаемости.

Таким образом, предложенная математическая модель демографических процессов в виде пятифазной автономной системы массового обслуживания, а также метод ее исследования могут быть применены для анализа сложившейся демографической ситуации в Российской Федерации и прогнозирования будущих тенденций демографических процессов.

Библиографические ссылки

1. Демографический энциклопедический словарь / под ред. Д. И. Валентя. М. : Сов. энцикл., 1985.
2. Назаров А. А. Теория массового обслуживания. Томск : Изд-во НТЛ, 2004.
3. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13-е изд., испр. М. : Наука, 1986.

4. Эльсгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М. : Наука, 1969.

5. Российский статистический ежегодник. 2005 / Гос. комитет по статистике Рос. Федерации // Россия : унив. информ. система. URL: <http://uisrussia.msu.ru> (дата обращения: 28.08.2009).

A. A. Nazarov, M. G. Nosova

THE MATHEMATICAL MODEL OF DEMOGRAPHIC PROCESSES RESEARCH IN THE FORM OF A FIVE-PHASE SYSTEM OF MASS SERVICE

The mathematical model of the change process of a demographic situation in the form of five-phase independent system of mass service with unlimited number of devices is presented. The research is carried out by the method of moments. First and second moments of number of the applications served in system are found. The developed model and the method are applied to forecasting process of demographic changes in the Russian Federation.

Keywords: system of mass service, demographic situation, population.

© Назаров А. А., Носова М. Г., 2010

УДК 004.932

М. В. Дамов

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОНА В ОБЛАСТЯХ КАДРА С ОБЪЕКТАМИ МАЛОГО РАЗМЕРА В ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Представлена общая концепция удаления искусственно наложенных изображений, естественных поврежденных видеоизображения и других объектов малого размера. Разработана классификация искусственно наложенных изображений. Рассматриваются алгоритмы обнаружения особенных точек и поиска движения в приложении к восстановлению видеопоследовательности.

Ключевые слова: поиск движения, видеопоследовательность, особенные точки, текстуры, текстурное заполнение.

В связи с развитием вычислительной техники становится актуальной задача реконструкции видеопоследовательностей: восстановление оригинального изображения под искусственно наложенными графическими объектами (логотипами телевизионных каналов, субтитрами и т. д.), удаление следов повреждения носителя информации (царапины на киноплёнке и т. д.) и других объектов малого размера (изображений на некотором фоне человека, дерева, камня и т. п.). Решение данной задачи в общем виде приведет к снижению затрат на повторное использование видеоматериалов, под которым понимается ремастеринг старых фильмов, ретрансляция материала различными телевизионными каналами с удалением ранее наложенных, но уже неактуальных изображений компьютерной графики, а также случайно попавших в кадр объектов, например, рекламных конструкций.

Наложённые изображения компьютерной графики, встречающиеся в видеоматериалах, можно разделить на следующие виды: телевизионные логотипы – изображения небольшого размера, как правило, размещённые в

одном или нескольких углах кадра или у границ кадра; титры – текстовые области с информацией о создателях фильма, могут быть размещены в любом месте кадра; субтитры – текстовые области у верхней или нижней границ кадра с периодически изменяющимся статическим текстом; бегущая строка – текстовая область у верхней или нижней границ кадра с перемещающимся текстом, перемещение текста осуществляется в соответствии с общепринятыми правилами чтения и письма.

Все разнообразие накладываемых изображений компьютерной графики можно классифицировать по различным признакам. Приведем наиболее часто встречающиеся: по размеру: маленькие (до 5 % экрана), средние (до 20 % экрана), большие (до 35 % экрана); по местоположению: угловые, вытянутые по горизонтальной границе кадра, вытянутые по вертикальной границе кадра, в соответствии со стандартом Substation Alpha или иное; по динамике: статические (изображение всегда постоянно), умеренно изменяющиеся (изображение без изменения размеров), полностью динамические (изображение изменяет

размеры, в пределах этих размеров может быть наложена другая видеопоследовательность); по длительности: постоянные на всей видеопоследовательности, периодически отсутствующие; по цветности: однотонные, черно-белые, градиентные, с ограниченным количеством цветов, полноцветные; по прозрачности: прозрачные и непрозрачные; по наличию контурных линий: обрамленные, без обрамления; по наличию собственного фона: с наличием собственного фона, не обладающие собственным фоном [1].

Искажения изображения вследствие повреждения носителя чаще всего имеют протяженную геометрическую структуру, могут возникать на любом месте кадра и иметь различные углы наклона. Характерной чертой поведения искажений во времени является их присутствие на нескольких последовательных кадрах, никак не связанное с изменением ракурса сцены. На видеопоследовательности могут присутствовать несколько таких структур, причем каждая из них характеризуется собственным поведением и может перекрывать другие структуры. Неопределенность и непредсказуемость появления повреждений делает поставленную задачу достаточно сложной для автоматической реализации. Только гипотеза о протяженности геометрической структуры, ее малой площади относительно всего кадра, однородной яркости и стабильности существования в течение последовательности кадров позволяет разработать метод локализации таких структур и реконструкции первоначального изображения.

Случайно снятые и ненужные в кадре объекты должны характеризоваться малым размером (до 10 % размера кадра), а также статическим положением на динамическом фоне; динамическим положением на статическом фоне; динамическим положением на динамическом фоне.

Правильная классификация удаляемых объектов позволит выбрать комплекс алгоритмов для проведения восстановления первоначальной видеопоследовательности. Для общего случая порядок восстановления оригинальной видеопоследовательности представлен ниже с подробным рассмотрением каждого шага.

Шаг 1. Определение характеристик видеопоследовательности (особенных точек кадра, векторов движения в кадре, движения объектов и текстур в кадре).

Одной из технологий извлечения структурированной и осмысленной информации из видеопоследовательности является слежение за точечными особенностями изображений видеопоследовательности. Под точечной особенностью понимается такая точка сцены, которая находится на плоском участке поверхности сцены. При этом изображение окрестности этой точки можно отличить от изображений окрестностей всех других точек сцены из некоторой другой окрестности этой точки.

Чаще всего для отслеживания точечных особенностей изображения (кадра) используется детектор Харриса, в котором для каждого пиксела изображения вычисляется значение особой функции отклика угла, оценивающей степень похожести изображения окрестности точки на угол. Для этого рассчитывается матрица

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix},$$

где $I(x, y)$ – яркость изображения в точке с координатами (x, y) .

В случае когда оба собственных значения матрицы велики, даже небольшое смещение точки (x, y) вызывает значительные изменения в яркости, что и соответствует особенности изображения, и функция отклика угла записывается в следующем виде:

$$R = \det \mathbf{M} - k(\text{trace}(\mathbf{M}))^2,$$

где $k = 0,04$ (коэффициент, предложенный Харрисом); $\text{trace}(\mathbf{M})$ – функция расчета суммы элементов матрицы на главной диагонали.

Точки изображения, соответствующие локальным максимумам функции отклика угла, и признаются особенностями.

Рассмотрим простую схему детектора точечных особенностей [2].

1. Детектирование и оценка.

1.1. Нахождение набора особенностей $\{F\}$, исходя из характеристик особенности – степени экстремальности функции отклика угла, местоположения особенности (в центре изображения, у границ изображения, у углов изображения), местоположения особенности относительно других особенностей или плотности особенностей в некоторой области кадра.

1.2. Определение качества всех особенностей – $Q\{F\}$. Наиболее качественными особенностями считаются особенности с большей степенью экстремальности функции отклика угла, достаточно удаленные от границ кадра, с низкой плотностью особенностей в интересующей нас области кадра. Для оценки качества могут быть использованы методы многоатрибутивного принятия решений, например метод упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением.

1.3. Выбор особенностей, чье качество выше некоторого заранее или динамически определяемого порога, и формирование множества $\{G\}$.

2. Слежение и оценка.

Для каждого последующего кадра:

2.1. Нахождение в текущем кадре нового положения всех особенностей из $\{G\}$ – слежение.

2.2. Определение текущего качества всех элементов множества $\{G\}$.

2.3. Выбор только тех особенностей, чье качество удовлетворяет некоторому критерию. Как правило, таким критерием служит интегральный критерий или степень экстремальности функции отклика угла.

2.4. Если число отслеживаемых точек уменьшается ниже требуемого уровня, то осуществляется применение детектора к текущему изображению и добавление в множество $\{G\}$ новых точек.

Для отслеживания изменения координат точечных особенностей применяются модификации алгоритма Лукаса–Канаде [3]. Последней модификацией алгоритма Лукаса–Канаде является алгоритм Джин–Фаваро–Соатто, учитывающий смещение особенностей, аффинные искажения особенностей, аффинные изменения освещенности особенностей. Задача слежения за особенностью сводится к определению параметров движения и искажения окна особенности, при которой минимизируется разность

$$c = \int \int_W (J(Ax + d) - I(x))^2 w(x) dx,$$

где W – окно особенности; $w(x)$ – весовая функция (может быть равна единице во всем окне); $J(x)$ и $I(x)$ – два изображения; $Ax + d$ – смещение точки.

Выражение дифференцируется относительно параметров движения, и производная приравняется к нулю. Затем система линейаризуется с помощью разложения функции изображения в ряд Тейлора:

$$J(Ax + d) = J(x) + g^T(u).$$

Это дает нам линейную систему из шести уравнений с шестью неизвестными

$$\mathbf{T}\mathbf{z} = \mathbf{a},$$

где в векторе $\mathbf{z}$ объединены все искомые параметры:

$$\mathbf{z}^T = [d_{xx} \quad d_{yx} \quad d_{xy} \quad d_{yy} \quad d_x \quad d_y].$$

Вектор ошибки $\mathbf{a}$ записывается в виде

$$\mathbf{a} = \int \int_W (I(x) - J(x)) \begin{bmatrix} xg_x \\ xg_y \\ yg_x \\ yg_y \\ g_x \\ g_y \end{bmatrix} w dx,$$

а матрицу $\mathbf{T}$ можно представить следующим образом:

$$\mathbf{T} = \int \int_W \begin{bmatrix} \mathbf{U} & \mathbf{V} \\ \mathbf{V}^T & \mathbf{Z} \end{bmatrix} w dx$$

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} x^2 g_x^2 & x^2 g_x g_y & xy g_x^2 & xy g_x g_y \\ x^2 g_x g_y & x^2 g_y^2 & xy g_x g_y & xy g_y^2 \\ xy g_x^2 & xy g_x g_y & y^2 g_x^2 & y^2 g_x g_y \\ xy g_x g_y & xy g_y^2 & y^2 g_x g_y & y^2 g_y^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V}^T = \begin{bmatrix} xg_x^2 & xg_x g_y & yg_x^2 & y \\ xg_x g_y & xg_y^2 & yg_x g_y & yg_y^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} g_x^2 & g_x g_y \\ g_x g_y & g_y^2 \end{bmatrix}$$

Полученная система решается также итеративно по методу Ньютона–Рафсона.

Если движение считается не аффинным, а просто смещением, то первые четыре элемента искомого вектора $\mathbf{z}$ обращаются в ноль, и значимыми остаются только последние два. Алгоритм превращается в алгоритм Томаси–Канаде.

Дополним приведенный алгоритм для случая переменного освещения.

Пусть поверхность сцены, на которой найдена особенность сцены, является ламбертовой. Тогда интенсивность освещения точки определится формулой $x = P(X)$, где X – точка сцены; P – оператор проектирования; x – точка на изображении, может быть описана как

$$I(x, 0) = v_E E(X) + \xi_E \quad \forall x \in W_U,$$

где $E(X)$ – альbedo (отражающая способность) точки сцены; U – окрестность точки сцены; v и E – постоянные параметры, которые представляют изменения контраста и яркости изображения соответственно. При движении камеры эти параметры меняются, т. е. зависят от времени. Изменения освещенности во времени можно записать как

$$I(x, 0) = v(t)I(x, t) + \xi(t) \quad \forall x \in W_U,$$

где

$$v(t) = \frac{v_E(t)}{v_E(0)}, \xi(t) = \xi_E(t) - \frac{v_E(t)}{v_E(0)} \xi_E(0)$$

при $t > 0$. Объединив аффинное движение окрестности особенности с изменением освещенности, получим выражение

$$I(x, 0) = v(t)I(Ax + d, t) + \xi(t) \quad \forall x \in W.$$

Из-за шума в изображении, а также из-за приближенного моделирования движения и изменения освещенности это уравнение в реальности никогда не будет выполняться, поэтому задача слежения состоит в минимизации разности между окрестностями текущего и нового положения особенности:

$$c = \int \int_W (I(x, 0) - vI(Ax + d, t) + \xi)^2 w(x) dx,$$

где $w(x)$ – весовая функция. С помощью разложения в ряд Тейлора в окрестности $d = 0$, $v = 1$, $\xi = 0$ получим

$$vI(y, t) + \xi \approx vI(x, t) + \xi + \nabla I \frac{\partial y}{\partial u} (u - u_0),$$

$$y = Ax + d \quad A = \{d_{ij}\};$$

$$A = \{d_{ij}\};$$

$$\mathbf{d} = [d_1 \quad d_2]^T;$$

$$\mathbf{u} = [d_{11} \quad d_{12} \quad d_{21} \quad d_{22} \quad d_1 \quad d_2]^T;$$

$$\mathbf{u}_0 = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0].$$

Перепишав получившееся равенство в матричной форме, получим следующее уравнение:

$$I(x, 0) = F(x, t)^T z,$$

где

$$\mathbf{F}(x, t) = [xI_x \quad yI_x \quad yI_y \quad I_x \quad I_y \quad I \quad 1];$$

$$\mathbf{z} = [d_{11} \quad d_{12} \quad d_{21} \quad d_{22} \quad d_1 \quad d_2 \quad \xi]^T.$$

Домножив на $F(x, t)^T$ и проинтегрировав по всему окну особенности W с весовой функцией w , получим систему из восьми уравнений с восемью неизвестными:

$$\mathbf{S}\mathbf{z} = \mathbf{a};$$

$$\mathbf{a} = \int \int_W F(x, t)^T I(x, 0) w(x) dx;$$

$$\mathbf{S} = \int \int_W F(x, t)^T F(x, t) w(x) dx.$$

Заменяв интегрирование на сумму по всем пикселям в окне W , мы приходим к следующей системе линейных уравнений:

$$\mathbf{S}\mathbf{z} = \mathbf{a}$$

$$\mathbf{S} = \sum_{x \in W} \begin{bmatrix} \mathbf{T} & \mathbf{U} \\ \mathbf{U}^T & \mathbf{V} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} x^2 I_x^2 & xy I_x^2 & x^2 I_x I_y & xy I_x I_y & x I_x^2 & x I_x I_y \\ xy I_x^2 & y^2 I_x^2 & xy I_x I_y & y^2 I_x I_y & y I_x^2 & y I_x I_y \\ x^2 I_x I_y & xy I_x I_y & x^2 I_y^2 & xy I_y^2 & x I_x I_y & x I_y^2 \\ xy I_x I_y & y^2 I_x I_y & xy I_y^2 & y^2 I_y^2 & y I_x I_y & y I_y^2 \\ x I_x^2 & y I_x I_y & x I_x I_y & y I_x I_y & I_x^2 & I_x I_y \\ x I_x I_y & y I_y^2 & x I_y^2 & y I_y^2 & I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

$$U^T = \begin{bmatrix} xI_x I & yI_x I & xI_y I & yI_y I & I_x I & I_y I \\ xI_x & yI_x & xI_y & yI_y & I_x & I_y \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} I^2 & I \\ I & 1 \end{bmatrix}$$

Если матрица S получается обратимой, то решение системы линейных уравнений можно записать в виде

$$z = S^{-1}a.$$

Как во всех алгоритмах слежения, система решается итеративно по методу Ньютона–Рафсона. Итерации происходят до тех пор, пока изменения решения не становятся пренебрежимо малы.

Шаг 2. Разделение видеопоследовательности на сцены.

Для повышения качества восстановления необходимо разделить видеопоследовательности на сцены по следующему алгоритму.

1. Расчет расстояния от каждой особенной точки кадра до центральной точки кадра по формуле

$$R_{ij} = \sqrt{(x_{G_i} - x_c)^2 + (y_{G_i} - y_c)^2},$$

где x_{G_i} , y_{G_i} – координаты i -й особенной точки; x_c , y_c – координаты центральной точки кадра.

2. Расчет смещения точки по формуле

$$|R_{ij} - R_{ij-1}| < e,$$

где e – порог смещения точки для кадра.

3. Расчет количества сильно смещенных точек в j -м кадре по формуле

$$f(R, e, j) = \text{count}(e > e_n),$$

где e_n – общий порог смещения. Если на текущем кадре j функция f достигает локального максимума, то текущий и последующий кадр являются границами сцены видеопоследовательности. Качество определения границы сцены можно описать следующими параметрами:

– точностью, представляющей собой вероятность, что найденная граница сцены верна:

$$P = \frac{C}{C + F};$$

– граничным сигналом, являющимся вероятностью того, что ожидаемая граница сцены будет найдена

$$V = \frac{C}{C + M};$$

– синтетической мерой точности на основе точности и граничного сигнала:

$$F1 = \frac{2PV}{P + V},$$

где C – количество верных срабатываний; M – количество пропущенных сцен; F – количество ложных срабатываний.

Шаг 3. Определение типа сцены (с движением, без движения).

Если на этапе отслеживания особых точек кадра видеопоследовательности удастся определить вектора движения точек в кадре, будем считать, что эта видеопоследовательность и сцена как ее часть обладает движением. Исходя из этого, на этапе восстановления первоначальной видеопоследовательности будем использовать пространственно-временной алгоритм получения информации из соседнего кадра. В том случае когда на этапе отслеживания особых точек не удастся определить вектора движения, будем считать,

что эта сцена не обладает движением, и использовать пространственный алгоритм восстановления на основе информации из областей, находящихся рядом с областями, которые необходимо восстановить.

Шаг 4. Определение границ областей наложенных изображений компьютерной графики в случае восстановления видеопоследовательности такого вида.

Локализация текстовых областей с искусственно наложенной графикой основана на модификации пространственного алгоритма Рареса–Рейндерса–Бьемонда [4]. Данный алгоритм построен на принципе обнаружении областей экстремальной яркости на основе мягкого и жесткого динамических порогов. Для обнаружения области экстремальной яркости мы должны установить некоторые пороги для поиска/локализации ярких и тусклых пикселей. Однако использование фиксированных порогов нежелательно, поскольку яркость меняется от кадра к кадру. Жесткий порог является хорошим решением для обнаружения таких областей, в то время как мягкий порог приведет к большому количеству ложно обнаруженных областей. Чтобы избежать этих проблем, в алгоритме обнаружения областей экстремальной яркости используется динамический порог, который работает для нашего случая весьма эффективно. Основная идея выбора динамического порога состоит в том, что сначала устанавливается жесткий порог, после чего определяются только те области, значения яркости у которых выше начального порога. Области, полученные на этом шаге, расширяются соседними, удовлетворяющими значениям мягкого порога.

Шаг 5. Определение характеристик восстанавливаемых областей, выбор комплекса алгоритмов для процесса восстановления.

Для видеопоследовательности с признаками движения в кадре анализируется структура нескольких предыдущих кадров видеопоследовательности и изменение полученной структуры предыдущих кадров по сравнению с редактируемым кадром. На основе полученных данных принимается решение об модификации текущего кадра с использованием информации, взятой из предыдущих кадров с учетом изменения структуры кадра.

Для видеопоследовательности без признаков движения в кадре анализируется текстура соседних с восстанавливаемой областью областей, после чего определяется структура и вероятность ее изменения. Хорошим вариантом может быть анализ области текстуры с помощью окна с динамическими размерами и сравнение элементов изображения на границах этого окна. Можно предположить, что при совпадении основных элементов изображения на границах этого окна, изображение внутри окна является желаемым текстурой, и на основе этого изображения допустимо генерировать текстуру для заливки области удаленного объекта. С учетом полученных данных производится заполнение восстанавливаемой области.

Для сцены видеопоследовательности с признаками движения будем предполагать, что местоположение в виде декартовых координат относительно верхнего левого угла кадра $(x1_a, y1_a, x2_a, y2_a)$ и линейные размеры $(d_x = x2_a - x1_a; d_y = y2_a - y1_a)$ реконструируемой области нам известны, кадр в целом движется в одном направлении, характер движения – равномерный и прямолиней-

ный. После окончания работы алгоритмов семейства Лукаса–Канаде мы знаем для каждого кадра положение набора точечных особенностей G_c , предыдущее положение набора точечных особенностей G_{i-1} в одном из предыдущих кадров и вектор (x_v, y_v) или направление и величину движения каждой особенной точки между парой смежных кадров. Обладая этой информацией, мы получаем возможность вычислить номер кадра относительно текущего, из которого будет браться информация для восстановления. Приведем описание работы такого алгоритма.

Реконструируемая область в общем случае может иметь прямоугольный вид, поэтому номер кадра n определяем как минимальный – такой, где точка уже находится за пределами области реконструкции $n = \min(d_x/x_v; d_y/y_v)$, при этом смещение точки замены относительно i -го кадра будет $x_{i-n} = n \cdot x_v; y_{i-n} = n \cdot y_v$, а координаты

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{i-n} \\ y_{i-n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i - n \cdot x_v \\ y_i - n \cdot y_v \end{bmatrix},$$

где i – текущий кадр, n – смещение кадра, $i-n$ – предыдущий кадр, содержащий информацию для реконструкции; $[x_i, y_i]$ – реконструируемая точка, $[x'_i, y'_i]$ – реконструированная точка, значение по координатам содержит цвет; $[x_{i-n}, y_{i-n}]$ – точка на предыдущем кадре, используемая для реконструкции.

Процесс реконструкции повторяем для каждой точки реконструируемой области для каждого кадра сцены, чтобы восстановить полную сцену видеопоследовательности. Мы можем использовать уже реконструированные точки для восстановления других точек того же самого кадра, или уже реконструированные кадры для восстановления прочих кадров реконструируемой сцены.

Данный алгоритм применим для реконструкции областей любых объектов переднего плана, однако накладываются ограничения на размер и местоположение реконструируемой области – в случае если область не лежит на границе кадра, то она может занимать до 90 % линейного размера кадра по своей большей стороне при меньшей стороне до 10 %. В случае если область лежит у одной из границ кадра, то длина стороны реконструируемой области не может быть более 10 % длины границы кадра.

Для сцены видеопоследовательности без признаков движения для восстановления областей кадра небольших размеров можно использовать модифицированный алгоритм, предложенный Ж. Понсом и Д. А. Форсайтом [5]:

1. Выбрать текстурный фрагмент в требуемой локализованной области, исходя из гипотезы о продолжении

текстуры данного вида в восстанавливаемой области.

2. В цикле вставить текстурный фрагмент в восстанавливаемую область изображения (пока восстанавливаемая область не будет заполнена):

3. В цикле, пока не будут подобраны значения для всех точек на границах синтезируемой области:

– подобрать окружение этого положения по примеру изображения, игнорируя при вычислении оценки схожести положения с неопределенными значениями;

– выбрать случайным равновероятным образом значение для этого положения из набора значений соответствующих положений подобранных окружений.

4. Конец цикла п. 3.

5. Конец цикла п. 2.

Этот алгоритм имеет большую вычислительную сложность и высокую зависимость от случайных значений. К его достоинствам можно отнести решение задачи заливки текстурой областей с неопределенной формой и стыковки сгенерированного и исходного изображения. Результаты применения алгоритма можно улучшить, используя медианный фильтр.

Итогом работы комплекса алгоритмов должно быть восстановление оригинальной видеопоследовательности, однако основной недостаток заключается в том, что качество работы можно оценить только субъективно или с помощью экспертов.

Библиографические ссылки

1. Дамов М. В. Пространственный метод локализации изображений логотипов в видеопоследовательностях // Наука. Технологии. Инновации. НТИ-2008 : материалы всерос. науч. конф. молодых ученых. Новосибирск. Ч. 1. 2008. С. 191–193.
2. Lucas B. D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision // Proc. of Imaging understanding workshop. 1981. P. 121–133.
3. Making good features to track better / T. Tommasini, A. Fusiello, E. Trucco, V. Roberto // Proc. IEEE Computer Society conf. on Computer Vision Pattern Recognition. 1998. P. 145–149.
4. Rares A., Reinders M. J. T., Biemond J. Recovery of partially degraded colors in old movie // Proc. of EUSIPCO-2002. Toulouse, 2003. P. 82–86.
5. Форсайт Д. А., Понс Ж. Компьютерное зрение: Современный подход : пер. с англ. М. : Вильямс, 2004. 928 с.

M. V. Damov

BACKGROUND RESTORATION IN FRAME AREA WITH SMALL SIZE OBJECT IN VIDEO SEQUENCES

A general concept of removing artificially overlaid images, the natural damage of video sequence and other small size objects has been covered. A classification of artificially overlaid images is developed. The algorithms for detecting feature points and their tracking used in video sequence restoration are overlooked.

Keywords: movement detect, video sequence, feature points, texture, texture filling

© Дамов М. В., 2010

Д. В. Личаргин

ПОРОЖДЕНИЕ ДЕРЕВА СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОЖДАЮЩИХ ГРАММАТИК НАД ДЕРЕВЬЯМИ СТРОК

Рассмотрен принцип порождения дерева состояний на основе порождающих грамматик над деревьями строк над такими объектами, как предложения естественного языка, а также двумерные и трехмерные образы. Рассматривается представление объекта как леса, включающего деревья разных срезов этого объекта в целях моделирования сложных систем.

Ключевые слова: порождение естественного языка, порождающие грамматики, семантика.

Проблема порождения предложений естественного языка является одной из важных проблем семантики и информатики [1–7]. Проблема порождения дерева состояний рассматривается в информатике и системном анализе весьма широко. Относительно вопроса генерации дерева осмысленных фраз эта проблема связывается в первую очередь с методом генерации предложений при помощи порождающих грамматик Хомского. Порождающие грамматики успешно применяются в таких программах, как системы перевода, экспертные системы, системы проверки орфографии и т. п.

Основной идеей данной статьи является анализ перспективы использования порождающих грамматик не над строками, а над деревьями строк. В связи с этим возможно более эффективное решение, с одной стороны, задач порождения грамматически и семантически осмысленной речи, а с другой – повышения эффективности различных аспектов анализа и синтеза образов.

Актуальность проблемы эффективной генерации осмысленных конструкций языка и двумерных и трехмерных образов является общепризнанной и связана с потребностями лингвистического и иного программного обеспечения.

Цель работы состоит в обосновании необходимости применения порождающих грамматик над деревьями как средства генерации осмысленной речи с учетом более разнородного контекста. Новизна работы состоит в применении порождающих грамматик не над строками, а над деревьями строк.

Как известно, стандартные порождающие грамматики над строками имеют вид четверки: $G \langle S, T, N, R \rangle$, где S – начальный символ порождающей грамматики; T – множество терминальных символов; N – множество нетерминальных символов; R – множество правил трансформации одной строки в другую.

Для порождающих грамматик над деревьями строки символов t и n заменяются деревьями (или лесом – деревьями с тождественными узлами). $t = t \langle t^1, t^2, \dots, t^n \rangle$, где $t^1 = t^1 \langle t^1, t^2, \dots, t^m \rangle$ и т. д., $n = n \langle n^1, n^2, \dots, n^m \rangle$, где $n^1 = n^1 \langle n^1, n^2, \dots, n^m \rangle$ и т. д.

Одной из основных особенностей любой системы является иерархия элементов системы. При этом иерархические отношения иногда могут составлять множество иерархий различных срезов рассмотрения системы. Например, сложение трех систем: высказывания в рамках распространенного повествования, высказывание с целью заказать чай и высказывание с целью поддержания вежливого разговора может дать осмысленные предло-

жения естественного языка. При этом для генерации таких сложных систем с несколькими целями и срезами рассмотрения необходимо использовать более сложные средства, чем порождающие грамматики над строками символов. Предлагается использовать порождающие грамматики над деревьями строк в целях генерации дерева возможных высказываний естественного языка.

Порождающая грамматика над деревьями строк строится следующим образом. Пусть $A \langle \dots B \dots C1 \rightarrow C2 \dots \rangle, \dots, B' \langle \dots C1' \rightarrow C2' \dots \rangle, \dots$ – правило порождающей грамматики над деревьями из множества таких правил с деревьями строк терминальных символов T и нетерминальных символов N ; $\rightarrow$ – символ перехода одной строки в другую; $S \langle \dots \rangle$ – начальный символ порождающей грамматики над деревьями.

Углубление дерева состояний другого генерируемого дерева или леса строк состоит на каждом этапе в умножении получаемого генерируемого дерева на правило порождающей грамматики.

Можно рассмотреть также деревья разнородной информации $A \langle B \{B1, B2\}, C \{C1, C2\} \rangle = \{A \langle B1, C1 \rangle, A \langle B1, C2 \rangle, A \langle B2, C1 \rangle, A \langle B2, C2 \rangle\} = \{A \langle B1, C1 \rangle, A \langle B1, C2 \rangle, A \langle B2, C1 \rangle, A \langle B2, C2 \rangle\}$. Таким образом, дерево состояний системы может быть вложено в дерево элементов системы и наоборот.

Как результат, высказывание может рассматриваться в виде объединения (сложения) деревьев разных срезов рассмотрения над единым пространством (деревом) точек слов естественного языка [4–6].

Пусть дано дерево $A \langle B \langle B' \langle \dots \rangle, B'' \langle \dots \rangle, \dots, B''' \langle \dots \rangle \rangle, C \langle C' \langle \dots \rangle, C'' \langle \dots \rangle, C''' \langle \dots \rangle, \dots, D \langle D' \langle \dots \rangle, D'' \langle \dots \rangle, \dots, D''' \langle \dots \rangle \rangle$ или коротко $A \langle \dots B \dots B'' \dots \rangle$, тогда лес деревьев рассмотрим как множество деревьев с тождественными узлами на множестве узлов этих деревьев: $F \langle A \langle \dots B \langle \dots B' \rangle (=L1) \dots \rangle, X \langle \dots Y \langle \dots Y' \rangle (=L1) \dots \rangle, \dots$, где $L1$ – тождественный узел первых двух деревьев вышеприведенного примера.

Рассмотрим пример дерева комбинаций шахматной партии: Доска $\langle \text{Колонка} [1] \langle \text{Клетка} [1], \text{Клетка} [2], \dots \rangle, \dots \rangle$, такое дерево формируется посредством умножения позиции на доске на множество правил возможных полуходов.

Ход конем будет иметь следующий вид: Доска $\langle \dots \text{Колонка} [X] \langle \dots \text{Клетка} [Y] \langle \text{Конь} \rightarrow \text{Пусто} \rangle, \dots \rangle, \text{Колонка} [(X+1) \text{ or } (X-1)] \langle \text{Клетка} [(Y+2) \text{ or } (Y-2)] \langle \text{Пусто} \rightarrow \text{Конь} \dots \rangle \dots \rangle$.

Генерация, например, образа стула предполагает также потенциальный образ человека на этом стуле. Стул $\langle \text{Сиденье}, \text{Ножки}, \text{Спинка}, \text{Человек} (=L1) \langle \text{Руки} (=L2), \text{Ноги} (=L3), \dots \rangle \dots \rangle$.

Туловище(=L4), Голова(=L5)>> + Джентльмен(=L1) <Тело <Руки(=L2), Ноги(=L3), Туловище(=L4), Голова(=L5)>, Одежда <Пиджак <Туловище(=L4)>, Ботинки, Цилиндр <Голова(=L5)>>> = Рисунок <Стул<...>, Джентльмен<...>, ...>.

Принцип свертки или сложения образов заключается в следующем: семантически схожие элементы – узлы деревьев – объявляются тождественными; в случае наличия нескольких вариантов свертки строится дополнительное подпространство возможных состояний системы – результата сложения деревьев элементов системы и порождения деревьев состояний системы.

Предложение естественного языка также может быть представлено в виде дерева. Например, дерево грамматического разбора предложения упрощенно может иметь следующий вид: Предложение <Вводное слово, обстоятельство, Субъект <Определитель, определение <Наречие степени, Группа прилагательного>, Именная часть>, Предикат <Модальность, обстоятельство, Глагольная часть>, Объект <Определитель, определение <Наречие степени, Группа прилагательного>, Именная часть>, обстоятельство>.

Данное дерево может быть прибавлено к (свернуто с) деревом семантического анализа, например, Тема «Здания» <Отношение-Существо-Здание {входить в, строить}, Свойство-Здание {мраморный, многоэтажный}, Здание {дом, библиотека}, обстоятельство 1 <с/без {с, без}, Сущность-Здание/Комнаты {коридор, зал}>, обстоятельство 2 <с/без {с, без}, Свойство-Предмет(Сущность-Здание/Архитектурный элемент {большой, красивый}), Сущность-Здание/Архитектурный элемент {стена, угол}>>.

Дерево следующего вида может быть использовано для генерации предложений естественного языка.

1. Субъект – существо (этот ... / человек / мужчина / женщина).

2. Модальность – действие над отношением (хотеть / желать / любить / обожать).

3. Предикат – действие с одеждой (покупать / получать / примерять / носить).

4. Объект – одежда (этот ... / джинсы / свитер / футболка).

Данное дерево может быть умножено на следующее правило порождающей грамматики.

1. $0 \rightarrow \text{Этот}$.

2. $0 \rightarrow \text{Атрибут} - \text{свойство одежды (стильный / модный / клетчатый)}$.

3. Объект – Одежда (Этот ... $\rightarrow 0$ / джинсы / свитер / футболка).

В результате получается предложение следующего вида: «этот человек хочет получить этот модный свитер» или «эта

женщина желает купить эту клетчатую футболку».

Можно предположить, что проблемы распознавания образов, анализа естественного языка и ряд других могут быть эффективно решены только на основе их совместного синтетического рассмотрения. Так, например, для перевода выражения «up-link communication» как «связь со спутником» необходимо использовать визуальный образ того, о чем говорится в тексте. Таким образом, в системе перевода при переводе текста должен наращиваться семантико-визуальный образ повествования, без которого невозможен перевод, приближенный к переводу человеком.

Для реализации вышеупомянутых принципов предполагается начать разработку словаря семантических деревьев разнородных данных: образов, шаблонов построения предложений, алгоритмов и т. п. В основу системы будет положен уже существующий словарь порождения высказываний в программе «Электронный словарь».

Вывод данной работы состоит в том, что порождающие грамматики над деревьями строк являются эффективным средством порождения деревьев состояний таких систем, как предложение естественного языка и семантической нагруженный образ. Предполагается применение порождающих грамматик над деревьями строк на основе «Словаря семантических деревьев», представляющего собой классификацию разнородных семантических данных.

Библиографические ссылки

1. Агамджанова В. И. Контекстуальная избыточность лексического значения слова. М. : Выс. шк., 1977.
2. Апресян Ю. Д. Идеи и методы современной структурной лингвистики. М. : Наука, 1966.
3. Вердиева З. Н. Семантические поля в современном английском языке. М. : Высш. шк., 1986.
4. Личаргин Д. В. Операции над семами слов естественного языка в машинном переводе // Тр. конф. молодых ученых ; Ин-т вычислит. моделирования СО РАН. Красноярск, 2003. С. 23–31.
5. Личаргин Д. В. Устранение семантического шума как средство адекватного перевода // Вопросы теории и практики перевода : тр. Всерос. конф. Пенза, 2003. С. 90–92.
6. Личаргин Д. В. Порождение фраз естественного языка в рамках задачи построения естественно-языкового интерфейса с программным обеспечением // Проблемы информации региона (ПИР-2003) : материалы восьмой Всерос. конф. Т. 2. Красноярск, 2003. С. 152–156.
7. Никитин М. В. Лексическое значение слова. М. : Высш. шк., 1983.

D. V. Lichargin

THE GENERATION OF STATES TREE ON THE BASIS OF THE GENERATIVE GRAMMARS OVER THE TREES OF STRINGS

The principle of states trees generation based on the generative grammars over trees of strings over such objects as the sentences of the natural languages, as well as two and three-dimensional images is considered. The presentation of the object as a forest including the trees of different layouts of the object for the purpose of complex systems modeling is considered.

Keywords: natural language generation, generative grammars, semantics.

© Личаргин Д. В., 2010

Ю. Ю. Якунин, А. А. Городилов

АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Описываются алгоритмы расчета комплексных показателей на множестве фактографических данных, представленных в динамических структурах с применением теории графов.

Ключевые слова: динамические структуры данных, трехдольные графы, алгоритм обхода графа, комплексные показатели.

Проблема разрыва между научными методами представления (описания) объектов реального мира и хранения информации о них в информационных системах существует уже давно и в настоящее время не нашла своего удовлетворительного решения. Так, самые передовые на сегодняшний день системы управления базами данных (СУБД), позволяющие сохранять информацию в виде объектов [1; 2] (объектно ориентированный подход [3]) или в виде глобалов [1] (иерархическое представление информации в виде дерева) – не могут охватить и доли всего многообразия представления информации современными научными методами [4]. Такой разрыв в значительной степени тормозит развитие прикладных наук и инженерии в области информационных технологий.

В связи с этим одним из существенных ограничений создания информационных систем является общепринятый способ хранения данных на базе статических структур (т. е. для описания объектов предметной области с целью хранения информации о них в базе данных заранее создается структура хранения данных). Это приводит к тому, что такая структура должна быть создана проектировщиком информационной системы еще на этапе ее проектирования и она (эта структура) не может изменяться в течение создания этой системы и ее эксплуатации. Стоит ли говорить, к каким затратам приводят изменения в структуре хранения информации на этапе создания информационной системы и ее эксплуатации... Очевидно, что если такие изменения возможны, то только в незначительной части этой структуры, иначе стоимость переработки может совпадать со стоимостью создания самой информационной системы и даже превышать её.

Любые попытки создания динамических структур хранения данных приводят к появлению задачи трансформации этих данных в один из существующих способов их хранения в СУБД (реляционный, объектный или иерархический). Ни один из перечисленных способов не способен работать напрямую с динамическими структурами. Зачастую такие задачи решаются индивидуально по мере их возникновения. В результате отсутствуют какие-либо общие подходы для решения этих задач, а реализованные в некоторых программных продуктах в виде отдельных модулей подобные задачи, представляют собой коммерческую тайну. Таким образом, существует научная задача описания динамических структур данных, обработки информации в этих структурах и хранение её в СУБД, а также частная задача расчета комплексных показателей на множестве фактографических данных в динамической структуре, решение которой и предлагается в данной статье.

Представление фактографических данных на трехдольном графе. Для описания динамической структуры данных предлагается выделять следующие категории информации [5]:

- показатели – количественные характеристики объектов;
- классификаторы – структурообразующие данные, состоящие из взаимосвязанных классов и их экземпляров (объектов);
- фактографические данные – значения показателей в отношении одного или нескольких классификаторов.

Для представления каждой категории информации будем использовать соответствующее графовое описание.

Граф показателей состоит из двух частей, одна из которых представляет собой дерево (рис. 1), содержащее вершины-категории (классификация показателей), а другая – простой граф с произвольным числом долей этого графа, вершины которого представляют собой показатели.

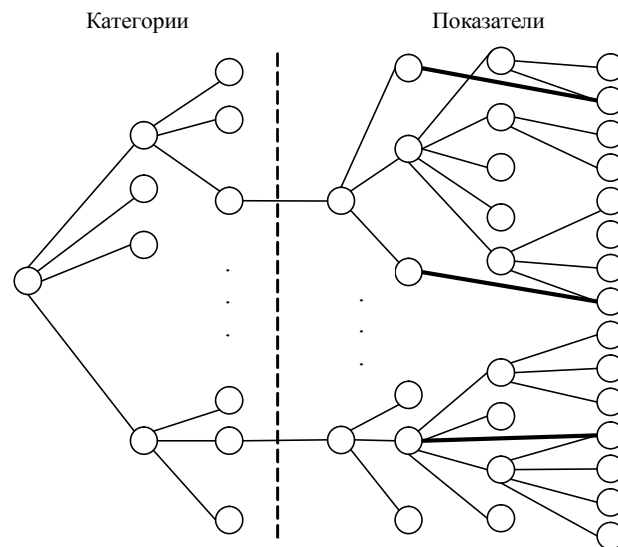


Рис. 1. Граф показателей

В части категорий ребра показывают (слева направо) разбиение категорий на подкатегории, а в части показателей ребра показывают (слева направо) разбиение агрегированных показателей на более частные до элементарных показателей (неделимых). Агрегированные показатели могут состоять не только из показателей предыдущего уровня (k), но и из показателей следующего уровня ($k + 1$), через уровень ($k + 2$) и т. д.

Рассмотрим граф классификаторов (рис. 2). Граф делится на три уровня, каждый из которых несет собственную смысловую нагрузку. Так, уровень категорий пред-

назначен для разбиения классификаторов на укрупненные категории, т. е. описания структуры классификационного дерева. На уровне классификаторов представлено множество вершин (классификаторов) с ребрами между уровнем категорий, показывающими принадлежность каждого классификатора к какой-либо категории, и ребрами между вершинами классификаторов, показывающих связи между ними, а сама вершина характеризуется не только ее наименованием, но и набором атрибутов.

Уровень значений классификаторов аналогично предыдущему уровню содержит множество вершин, каждая из которых имеет одно обязательное ребро, показывающее принадлежность значения к какому-либо классификатору, и несколько необязательных ребер, показывающих зависимость между значениями разных классификаторов. Вершины данного уровня также характеризуются наименованием и значениями атрибутов, соответствующих вершинам в уровне классификаторов, с которыми они связаны ребрами.

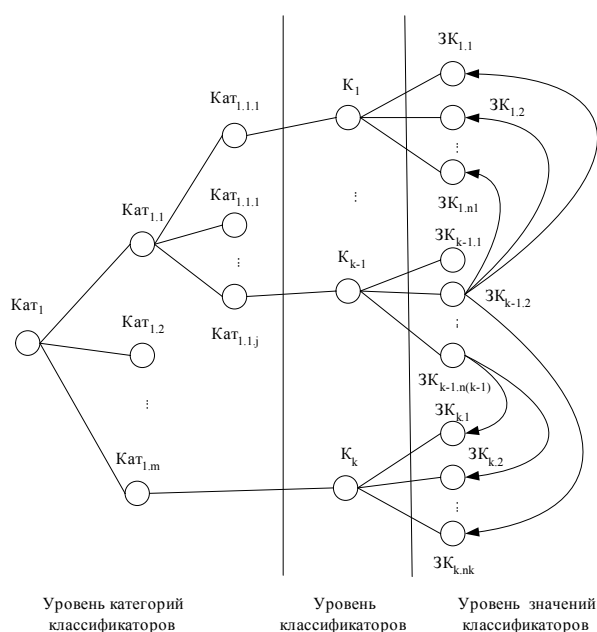


Рис. 2. Граф классификаторов:
Кат – категория классификаторов; К – классификатор;
ЗК – значение классификатора

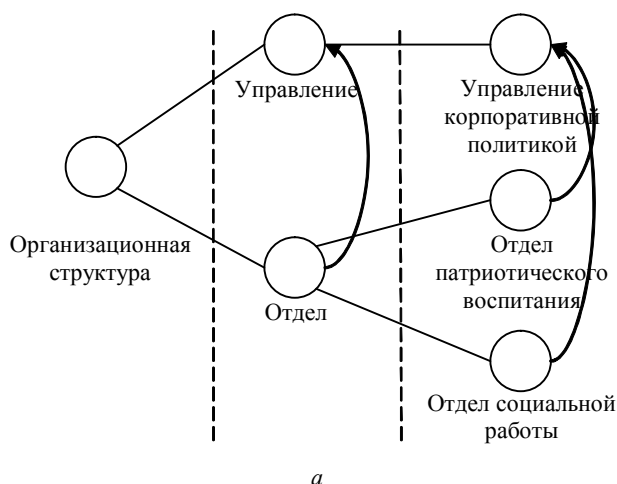


Рис. 3. Примеры представления структур: а – графовый вид; б – объектный вид

Рассмотрим в качестве примера организационную структуру некоторой организации (рис. 3) и выделим две сущности в этом примере – управление и отдел. Проведем аналогию графового представления структуры классификаторов (рис. 3, а) с другими способами представления данных, например, с объектным (рис. 3, б).

Фактографические данные представляют собой граф со множеством вершин, не имеющих ребер между собой, но имеющих ребра с вершинами графов классификаторов и показателей (рис. 4). Вершины фактографических данных представляют собой числа, которые являются количественными характеристиками одного или нескольких показателей в отношении с одним или несколькими классификаторами. Например, для показателя «зарплата» и значения классификатора «отдел социальной работы», значение фактографического данного может равняться Х рублей в год.

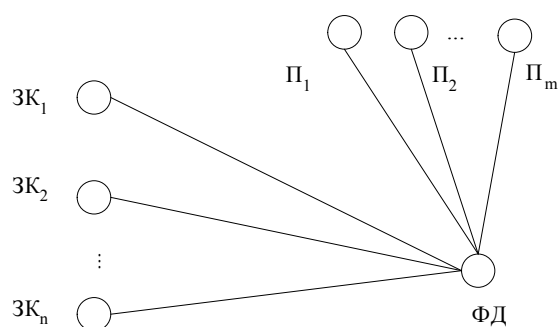


Рис. 4. Фрагмент графа фактографических данных:
ЗК – значение классификатора; П – показатель;
ФД – фактографическое данное

Таким образом, вершины фактографических данных, соединяясь с вершинами графов классификаторов и показателей, образуют граф со сложными взаимосвязями (рис. 5).

Для проведения аналитических операций над фактографическими данными с целью вычисления комплексных показателей будут использоваться не все вершины и ребра графа. Например, для расчета суммарной годовой заработной платы в организационной единице «управление корпоративной политики» нужно просуммировать

значения фактографических данных, у которых есть связи с вершинами, представляющими отделы этого управления, и вершиной показателя «заработная плата». Таким образом, из всего графа, представленного на рис. 5, будут использоваться только вершины фактографических данных и связанные с ними вершины графов классификаторов и показателей. Кроме того, если в качестве исходных данных для алгоритма вычисления комплексного показателя будут использоваться множество вершин значений классификаторов и множество вершин показателей, для которых нужно произвести вычисление, то рёбра между вершинами значений классификаторов будут не нужны. Поэтому, учитывая все вышесказанное, упростим граф фактографических данных (см. рис. 5) до трехдольного графа (рис. 6), который представляет собой три множества вершин (X_1, X_2 и X_3), в каждом из которых вершины не имеют рёбер между собой, но имеют рёбра между вершинами соседних множеств [6].

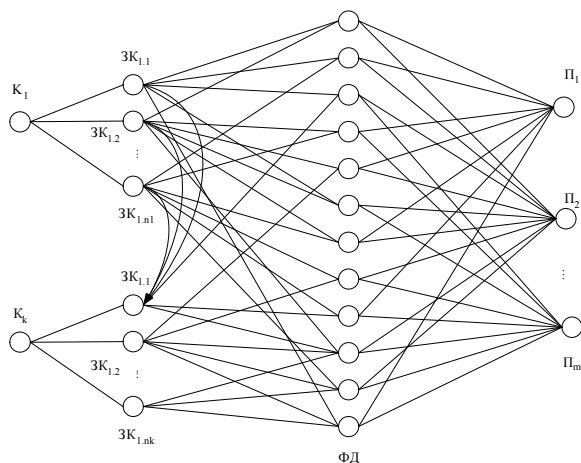


Рис. 5. Граф фактографических данных: К — классификатор; ЗК — значение классификатора; П — показатель; ФД — фактографическое данные

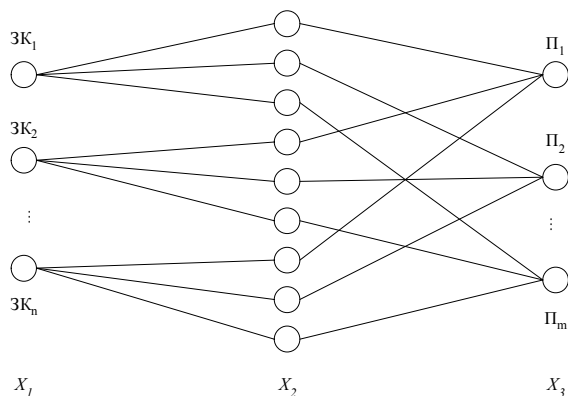


Рис. 6. Трехдольный граф фактографических данных: ЗК — значение классификатора; П — показатель; X — множество вершин трехдольного графа

Трехдольный граф является частным случаем N-дольного графа (рис. 7), который обладает собствен-

ными свойствами отличительными от простого графа, для которого уже существуют некоторые алгоритмы его обхода [7].

Такие алгоритмы плохо работают на N-дольных графах, поскольку они ориентированы на достижение других целей (нахождение кратчайшего пути, поиск определенных значений и др.), а не решения задачи отбора вершин в одной из долей с заданными условиями через подмножества вершин в соседних долях. Именно с такими свойствами требуется алгоритм обхода графа для расчета комплексных показателей. В данной работе предлагаются алгоритмы обхода N-дольного графа с целью поиска вершин в одной доле, имеющих полное множество ребер¹ с заданными через условия поиска подмножествами вершин в соседних долях графа.

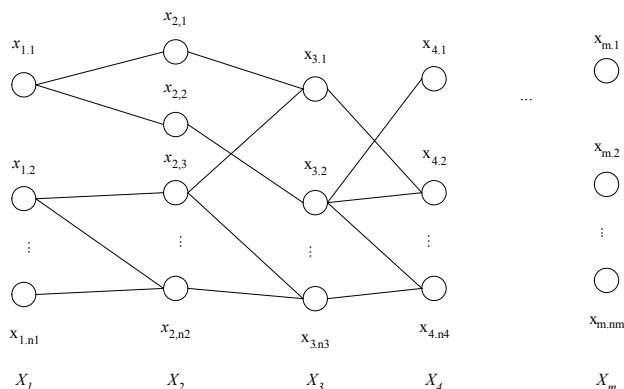


Рис. 7. N-дольный граф:

x — вершина графа;

X — множество вершин трехдольного графа

Алгоритмы поиска на N-дольном графе. Для осуществления поиска вершин в одной доле N-дольного графа необходимо определить два подмножества вершин X'_{k-1} и X'_{k+1} , объединённых в множество условий поиска U_k , где k — номер доли, в которой будет выполняться поиск. При осуществлении поиска вершин в k -й доле будет сформировано подмножество X'_k , в которое будут отобраны вершины, имеющие полное множество ребер с подмножествами из условий поиска:

$$U_k = X'_{k-1} \cup X'_{k+1}. \quad (1)$$

Для каждой вершины $x'_{k,i} \in X'_k$ будет выполняться следующее условие:

$$(\Gamma(x'_{k,i}) \cap X'_{k-1}) \cup (\Gamma(x'_{k,i}) \cap X'_{k+1}) = X'_{k-1} \cup X'_{k+1}, \quad (2)$$

где $\Gamma(x'_{k,i})$ — множество всех вершин, имеющих рёбра с вершиной $x'_{k,i}$.

Ниже описаны два новых алгоритма поиска на N-дольном графе: «обход окрестностей одной вершины» и «пометка вершин».

Обход окрестностей одной вершины

1. Отобрать все вершины из множества X_k , которые имеют рёбра с одним из элементов из множества U_k и поместить их в множество X'_k .

¹ Условиями задаются подмножества вершин для $(k-1)$ и $(k+1)$ долей графа, если поиск выполняется в k -й доле. Если вершина k -й доли связана со всеми вершинами заданных подмножеств в $(k-1)$ и $(k+1)$ долях, то такая вершина имеет полное множество ребер.

2. Проверить каждую вершину $x'_{k,i} \in X'_k$, имеет ли она полное множество ребер с вершинами множества U_k . Если условие не выполняется, то вершина $x'_{k,i}$ удаляется из множества X'_k .

Анализ данного алгоритма позволил выявить зависимость количества переходов C , необходимых для осуществления поиска, от условий поиска:

$$C = \sum_{i=1}^n (|\Gamma(x'_{k,i})| - 1), \quad (3)$$

где $|\Gamma(x'_{k,i})|$ – количество вершин, связанных с элементом $x'_{k,i}$.

Пометка вершин

1. Выбрать вершину $u_{k,i}$ из множества U_k . Ввести множество меток M , размерность которого равна $|X'_k|$, и каждому элементу этого множества присвоить «0». $i = 1$.

2. Для вершины $u_{k,i}$ найти множество $\Gamma(u_{k,i}) \subset X'_k$. Для каждого $x_{k,j} \in X'_k$, для которого выполняется условие $x_{k,j} \in \Gamma(u_{k,i})$, соответствующей метке $m_j \in M$ увеличить значение на «1».

3. $i = i + 1$. Если $i = n$, перейти к следующему шагу. Иначе перейти к шагу 2.

4. Найти вершину в множестве U_k с наименьшим количеством ребер и поместить связанные с ней вершины из X'_k в множество X'_k .

5. В результирующее множество X'_{res} из множества X'_k отобрать вершины, имеющие полное множество ребер с вершинами из множества U_k : $X'_{res} = \{x_{k,i} \in X'_k \mid m_i = |U_k|\}$.

Определим для данного алгоритма зависимость количества переходов C , необходимых для осуществления поиска, от условий поиска:

$$C = \sum_{i=1}^n |\Gamma(u_{k,i}) \in X'_k| + \min(A), \quad (4)$$

где $A = \{|\Gamma(u_{k,i}) \in X'_k|, i = \overline{1, n}\}$.

Анализ формул (3), (4) показал, что при небольшом количестве условий поиска (от 1 до 4) эффективнее (с точки зрения количества переходов между вершинами графа) работает алгоритм «пометка вершин», а при увеличении условий поиска эффективнее работает алгоритм «обход окрестностей одной вершины».

Алгоритмы вычисления комплексных показателей.

Комплексный показатель вычисляется на множестве фактографических данных X_2 трехдольного графа G_3 (рис. 6) путем выделения подмножества $X'_2 \subset X_2$, удовлетворяющего условиям U_2 (1), и выполнения операций над этим подмножеством. Таким образом, функция вычисления комплексного показателя (КП) представляет собой алгоритмическую функцию поиска на трехдольном графе с заданными условиями и аналитическую функцию преобразования над полученным множеством:

$$КП = F(G_3, U_2). \quad (5)$$

Рассмотрим пример вычисления комплексного показателя с применением новых алгоритмов поиска на N-дольных графах. Допустим, на трехдольном графе фактографических данных (рис. 8) требуется вычислить количество выпускников в 2007 г. по специальности «токарь». В таблице приведено описание вершин графа для данного примера.

Перед началом поиска в соответствии с примером зададим множество условий (1):

$$U_2 = \{x_{1,3}, x_{1,5}\} \cup \{x_{3,1}\} = \{x_{1,3}, x_{1,4}, x_{3,1}\}.$$

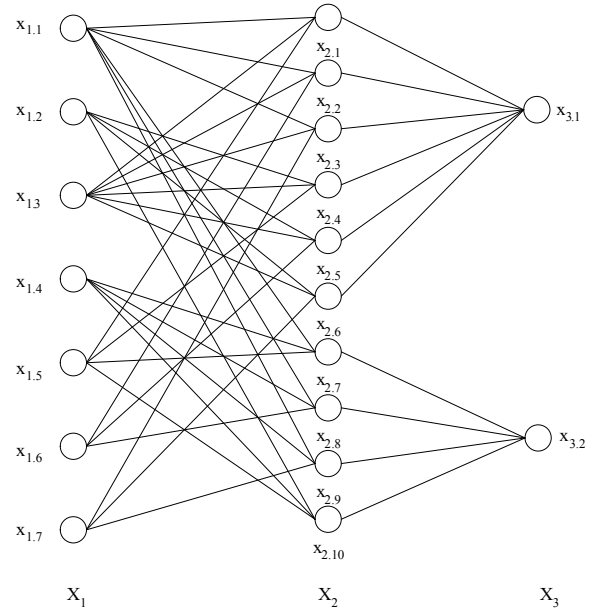


Рис. 8. Пример фактографических данных о выпуске специалистов: x – вершина графа; X – множество вершин трехдольного графа

Применение алгоритма «Обход окрестностей одной вершины»:

1. Отобрать все вершины из множества X_2 , которые имеют ребра с вершиной $x_{1,3}$ из множества U_2 , и поместить их в множество $X'_2 = \{x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}, x_{2,4}, x_{2,5}, x_{2,6}\}$.

2. Проверить каждую вершину $x_{2,i} \in X'_2$, имеет ли она полное множество ребер с вершинами множества U_2 . Если условие не выполняется, то вершина $x'_{2,i}$ удаляется из множества X'_2 . В результате в множестве X'_2 остаются следующие элементы $\{x_{2,1}, x_{2,3}\}$.

Значения элементов множества X'_2 берем из таблицы. Для вычисления комплексного показателя «количество выпущенных специалистов в 2007 г.» выполним операцию суммирования над элементами получившегося подмножества и получим искомое значение – 15.

Применение алгоритма «Пометка вершин»:

1. $i = 1$. Выбрать вершину $u_{2,i}$ из множества U_2 : ($u_{2,1} = x_{1,3}$). Ввести множество меток M , размерность которого равна $|X_2| = 10$ и каждому элементу этого множества присвоить «0».

2. Для вершины $u_{2,i}$ найти множество $\Gamma(u_{2,i}) \subset X_2$ для $\forall i$. Для каждого $x_{2,j} \in X_2$, для которого выполняется условие $x_{2,j} \in \Gamma(u_{2,i})$, соответствующей метке $m_j \in M$ увеличить значение на «1».

$i = 1$: $u_{2,1} = x_{1,3}$, $\Gamma(u_{2,1}) = \{x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}, x_{2,4}, x_{2,5}, x_{2,6}\}$,

$M = \{1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0\}$;

$i = 2$: $u_{2,2} = x_{1,5}$, $\Gamma(u_{2,2}) = \{x_{2,1}, x_{2,3}, x_{2,10}\}$, $M = \{2, 1, 2, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1\}$;

$i = 3$: $u_{2,3} = x_{3,1}$, $\Gamma(u_{2,3}) = \{x_{2,1}, x_{2,2}, x_{2,3}, x_{2,4}, x_{2,5}, x_{2,6}\}$,

$M = \{3, 2, 3, 2, 2, 0, 0, 0, 0, 1\}$.

3. Найти вершину в множестве U_2 с наименьшим количеством ребер, в нашем случае $x_{1,5}$, и поместить свя-

занные с ней вершины из X_2 в множество $X'_2 = \{x_{2,1}, x_{2,3}, x_{2,10}\}$.

4. В результирующее множество X'_{res} из множества X'_2 отобрать вершины, имеющие полное множество рёбер с вершинами из множества U_2 : $X'_{res} = \{\forall x_{2,i} \in X'_2 \mid m_i = |U_2|\} = \{x_{2,1}, x_{2,3}\}$.

Комплексный показатель вычисляется аналогично предыдущему примеру и равняется 15.

Таким образом, предложенный авторами подход представления динамических структур данных позволяет создавать информационные системы с изменяемой структурой информации об объектах предметной области и её обработки на уровне региона. Описанные в статье алгоритмы могут использоваться в разработке автоматизированных систем с динамическими структурами, создаваемых на базе предложенного подхода, для вычисления комплексных показателей при обработке статистической информации.

В развитие данного подхода планируется проведение дальнейших исследований: выявление структуры графа представления показателей, особенностей его построения и алгоритмов обхода этого графа; исследование возможностей хранения графов показателей, классификаторов и фактографических данных в системах управления базами данных в неизменном виде и разработка методик

работы с элементами графов в этих системах; исследование возможных способов автоматической обработки фактографических данных с целью выявления недостоверных данных, новых комплексных показателей и новых классов данных для дальнейшего их анализа.

Библиографические ссылки

1. Постреляционная СУБД Cache 5. Объектно-ориентированная разработка приложений / В. Кирстен, М. Иррингер, М. Кюн, Б. Рериг. 2-е изд. М. : Бином-Пресс, 2005. 416 с.
2. Кайт Т. Oracle для профессионалов. СПб. : ДиаСофт-ЮП, 2005. 656 с.
3. Фаулер М., Скот К. UML. Основы. СПб. : Символ-Плюс, 2002. 192 с.
4. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем : учеб. пособие. М. : Высш. шк., 2006. 511 с.
5. Шовкун А. В. Построение корпоративной информационно-аналитической системы в условиях постоянно изменяющегося бизнеса // Науч.-техн. информация. Серия 1. М. : ВИНТИ, 2004. № 9. С. 1–6.
6. Харари Ф. Теория графов. М. : Эдиториал УРСС, 2003. 296 с.
7. Ананий В., Левитин А. Алгоритмы: введение в разработку и анализ = Introduction to The Design and Analysis of Algorithms. М. : Вильямс, 2006. С. 189–195.

Условные обозначения значений классификаторов и показателей

Вершина	Характеристика вершины	Пояснение
$x_{1,1}$	ПУ-1	Наименование образовательного учреждения
$x_{1,2}$	ПУ-2	Наименование образовательного учреждения
$x_{1,3}$	2007	Период (весь 2007 г.)
$x_{1,4}$	2008	Период (весь 2008 г.)
$x_{1,5}$	Токарь	Наименование профессии
$x_{1,6}$	Водитель	Наименование профессии
$x_{1,7}$	Повар	Наименование профессии
$x_{2,1}$	10	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,2}$	20	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,3}$	5	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,4}$	7	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,5}$	13	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,6}$	3	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,7}$	7	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,8}$	4	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,9}$	11	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{2,10}$	6	Количественная характеристика фактографического данного
$x_{3,1}$	Выпуск специалистов	Наименование показателя
$x_{3,1}$	Набор студентов на первый курс	Наименование показателя

Yu. Yu. Yakunin, A. A. Gorodilov

ALGORITHMS OF CALCULATION OF COMPLEX INDICATORS IN DYNAMIC STRUCTURE OF DATA VIEW

This paper presents algorithms of calculation of complex indicators on a set of factual data display in dynamic structures with application of the graph theory.

Keywords: dynamic structures of the data, tripartite graph, algorithm of graph's round, complex indicators.

© Якунин Ю. Ю., Городилов А. А., 2010

ФОРМИРОВАНИЕ КОНТЕКСТНОЙ ГРАММАТИКИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СЛОЖНЫХ СЦЕН С МНОГОУРОВНЕВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ

Рассматриваются вопросы формирования контекстных грамматик, описывающих как структурную информацию образа, так и взаимодействие образов в сложной сцене. Предложено использование трехуровневой грамматики, включающей задачу синтаксического анализа последовательности изображений (с расширенным содержимым основного и вспомогательного словарей) и задачу синтаксического анализа сцены с учетом многоуровневого движения объектов.

Ключевые слова: контекстная грамматика, синтаксическое распознавание, многоуровневое движение.

Изначально структурный, или лингвистический, подход был основан на использовании различных лингвистических конструкций, состоящих из словаря и правил конструирования фраз из заданного словаря. Такое структурное описание изображений позволяет проводить аналогию между структурой изображения и синтаксисом языка формальных грамматик. Отметим, что данное направление возникло в 60-х гг. XX в. как один из первых подходов к решению задач описания и распознавания изображений. Структурный подход позволяет не только отнести статический объект наблюдения к определенному образу, но и описать те свойства объекта, которые исключают его отнесение к другому образу.

Традиционные методы в рамках структурного подхода сводятся к синтаксическому описанию множеств сложных изображений с использованием небольшого набора неприводимых элементов и грамматических правил. При этом считается, что изображения конструируются из соединенных различными способами элементов аналогично тому, как фразы и предложения естественных языков строятся путем соединения слов, а слова состоят из букв. Простейшие элементы, из которых строятся слова, а затем предложения, называются неприводимыми элементами. Правила конструирования композиций из неприводимых элементов обычно задаются с помощью специальных грамматик описания изображений. Грамматическое правило (правило подстановки) может быть применено любое число раз, что позволяет достаточно компактно выражать основные структурные характеристики бесконечного множества предложений. Язык, который обеспечивает структурное описание изображений в терминах множества неприводимых элементов и конструирования композиций этих элементов, называют языком описания изображений. В процессе распознавания осуществляется идентификация неприводимых элементов и описание изображения в терминах заданного языка. Собственно распознавание состоит в синтаксическом анализе (или грамматическом разборе) «предложения», описывающего некоторое изображение. Процедура распознавания устанавливает синтаксическое соответствие анализируемого «предложения» или описания изображения заданной грамматике [1].

Система синтаксического распознавания образов состоит из трех основных модулей: модуля предварительной обработки, модуля описания и модуля синтаксического анализа. Модуль предварительной обработки осу-

ществляет кодирование, аппроксимацию, фильтрацию, восстановление и улучшение изображения. Модуль описания включает функции сегментации и выделения неприводимых элементов на основе заранее заданных синтаксических операций. Каждая выделенная часть изображения идентифицируется относительно заданного множества неприводимых элементов, а изображение в целом характеризуется набором цепочек неприводимых элементов в виде структуры языкового типа. Модуль синтаксического анализа проверяет правильность составленных цепочек в рамках заранее заданных грамматик. Каждому образу соответствует своя заранее заданная грамматика, и если описание анализируемого изображения синтаксически верно в рамках данной грамматики, то изображение относится к тому образу, которому соответствует эта грамматика.

Формирование грамматики, описывающей как структурную информацию образа, так и взаимодействие образов, связано с необходимостью разработки алгоритма восстановления (или вывода) грамматики по заданному множеству динамических изображений, представляющих собой обучающую выборку. Такой алгоритм выполняет обучение распознающей системы. В результате обучения формируются структурные описания образов и описания их отношений, которые затем используются для синтаксического анализа событий и жанра сложной сцены. В простейшем случае процесс обучения не производится, а выбор грамматик и множеств неприводимых элементов осуществляется учителем. Поскольку динамическая сцена с многоуровневым движением обладает очень сложной, постоянно изменяющейся во времени структурой, целесообразно применять контекстные грамматические правила, в связи с чем возникает понятие многоуровневой контекстной грамматики.

Рассмотрим некоторые основные положения, присущие структурным методам описания сцены или распознавания.

Порождающая грамматика – это упорядоченный набор параметров $\mathbf{GR} = (V_T, V_N, P, S)$, где V_T – конечный алфавит, определяющий множество терминальных символов; V_N – конечный алфавит, определяющий множество нетерминальных символов; P – конечное множество правил вывода, т. е. множество пар следующего вида $u \rightarrow v$, где $u, v \in (V_T \cup V_N)^*$; S – начальный символ (аксиома грамматики), $S \in V_N$. Из терминальных символов состоят цепочки языка, порожденного грамматикой. Аксиомой

называется символ в левой части первого правила вывода грамматики. В грамматике **GR** цепочка x непосредственно порождает цепочку y , если $x = \alpha u \beta$, $y = \alpha v \beta$ и $u \rightarrow v \in P$, т. е. цепочка y непосредственно выводится из цепочки x , что обозначается $x \Rightarrow y$. Языком, порождаемым грамматикой **GR** $= (V_T, V_N, P, S)$, называется множество терминальных цепочек, выводимых в грамматике **GR** из аксиомы: $L(\mathbf{GR}) = \{x \mid x \in V_T^*; S \Rightarrow^* x\}$, где символ $\Rightarrow^*$ – выводимость.

Правила порождающих грамматик позволяют осуществлять преобразования строк. Ограничения же на виды правил позволяют выделить классы грамматик. Классификация, предложенная Н. Хомский, определяет четыре типа грамматик:

1) грамматики типа 0 – это грамматики, на правила вывода которых нет ограничений;

2) грамматики типа 1 (контекстные грамматики) – это грамматики, все правила которых имеют следующий вид: $xAy \rightarrow x\varphi y$, где $A \in V_N$, $x, y, \varphi \in (V_N \cup V_T)^*$;

3) грамматики типа 2 (бесконтекстные, или контекстно-свободные грамматики – КС-грамматики). Правила вывода для этих грамматик имеют следующий вид: $A \rightarrow \varphi$, где $A \in V_N$, $\varphi \in (V_N \cup V_T)^*$;

4) грамматики типа 3 – это автоматные грамматики, которые делятся на два типа:

– левосторонние (леворекурсивные), правила вывода для которых имеют следующий вид: $A \rightarrow Aa \mid a$, где $A \in V_N$;

– правосторонние (праворекурсивные), правила вывода для которых имеют следующий вид: $A \rightarrow aA \mid a$.

При этом язык L называется языком типа i , если существует грамматика типа i , порождающая язык L . Дерево вывода часто называется деревом грамматического разбора, или синтаксическим деревом, а процесс построения дерева вывода – грамматическим разбором (синтаксическим анализом). Одной цепочке языка может соответствовать больше одного дерева, так как эта цепочка может иметь разные выводы, порождающие разные деревья. Так, например, КС-грамматика **GR** $= (V_T, V_N, P, S)$ называется неоднозначной (неопределенной), если существует цепочка $x \in L(\mathbf{GR})$, имеющая два или более дерева вывода. Однако дерево грамматического разбора не следует путать с представлением грамматики в виде графа. Граф грамматики в качестве вершин содержит синтаксические формы (любые цепочки, выводимые из аксиомы).

Основной недостаток рассмотренных грамматик состоит в том, что они в большей мере приспособлены для описания сцен, чем для распознавания. Указанный недостаток в значительной степени преодолен в работах, выполненных под руководством М. И. Шлезингера, с использованием метода двухмерного программирования. Предложенная в работе [2] двумерная грамматика **GR_s** представляет собой функцию следующих шести параметров:

$$\mathbf{GR}_s = \langle V_o, \mathbf{S}, \mathbf{T}_v, \mathbf{T}_s, R, \{Z, Z(t, t'); (t, t') \in \mathbf{N}\} \rangle.$$

Пусть на изображениях $\mathbf{T}_v$ заданы распознаваемые изображения объектов. Каждое из этих изображений представляет функцию, заданную на изображениях $\mathbf{T}_v$ и принимающую значения из алфавита объектов V_o , соответствующего основному алфавиту в одномерных грамматиках. Из элементарных изображений этого алфавита

составляются более сложные изображения. Кроме алфавита сигналов вводится алфавит **S** структурных элементов, соответствующий алфавиту вспомогательных символов в одномерных грамматиках. Структурные элементы, с одной стороны, определяют допустимые значения соответствующих сигналов, а с другой стороны, позволяют выразить ограничения, накладываемые на структуру изображения в целом в виде локальных ограничений. Из структурных элементов составляется описание изображения, которое определяется как функция $\bar{S}$, заданная на конечном множестве $\mathbf{T}_s$ (описание) и принимающая значения из множества **S**. В общем случае описания не обязательно изоморфны изображениям. Элемент множества $\mathbf{Z} = V_o \cup \mathbf{S}$ называется символом и обозначается z . Множество **T** представляет собой объединение изображения и описания. Такой элемент называется клеткой и обозначается как t . Две клетки t и t' считаются соседними, если некоторый фиксированный для данной грамматики симметричный предикат $R(t, t')$ равен единице. При этом **N** – множество пар соседних клеток.

Вариантом $\bar{Z}$ называется пара $(\bar{V}, \bar{S})$ изображение – описание. Это означает, что вариант – это функция, заданная на множестве $\mathbf{T} = \mathbf{T}_v \cup \mathbf{T}_s$ и принимающая значения из множества **Z**, причем такая, что $\mathbf{Z}(t) \in V_o$, если $t \in \mathbf{T}_v$ и $\mathbf{Z}(t) \in \mathbf{S}$, если $t \in \mathbf{T}_s$. Для каждой пары соседних клеток t и t' считаются заданными множества **Z**, $\mathbf{Z}(t, t')$ допустимых пар $(\mathbf{Z}, \mathbf{Z}')$ символов $\mathbf{Z}, \mathbf{Z}' \in \mathbf{Z}$. Вариант $\bar{Z}$ называется допустимым, если для любой пары $(t, t') \in \mathbf{N}$ выполняется соотношение $(\mathbf{Z}(t), \mathbf{Z}(t')) \in \mathbf{Z}, \mathbf{Z}(t, t')$. Изображение $\bar{V}^*$ называется допустимым, если существует допустимый вариант $\bar{Z}(\bar{V}^*, \mathbf{S})$. Если вариант $\bar{Z}(\bar{V}^*, \mathbf{S})$ является допустимым, то описание $\bar{S}$ называется возможным описанием изображения $\bar{V}^*$.

Зададим с помощью двумерной грамматики **GR_s** не все множество изображений $\mathbf{X}^*$, относящихся к одному зрительному образу, а его незначительную часть, называемую множеством $\mathbf{V}^*(\mathbf{GR}_s)$ идеальных или эталонных изображений. Любому эталонному изображению $\bar{V} \in \mathbf{V}^*(\mathbf{GR}_s)$ соответствует некоторое множество реальных изображений, похожих на эталонное изображение $\bar{V}$. Функция принадлежности $f_v(\mathbf{X})$ распознаваемого изображения множеству $\mathbf{V}^*(\mathbf{GR}_s)$, называемая сходством, принимает различные значения (не обязательно значения, равные 0 или 1). Задача синтаксического анализа изображения **X** заключается в нахождении эталонного изображения, порождаемого грамматикой **GR_s** и максимизирующей функцию сходства

$$\mathbf{V}^*(\mathbf{X}) = \arg \max_{\bar{V} \in \mathbf{V}^*(\mathbf{GR}_s)} f_v(\mathbf{X}). \quad (1)$$

В работе [2] предложен метод решения данной задачи, названный методом двумерного программирования. Метод позволяет одновременно с оптимальным изображением $\mathbf{V}^*(\mathbf{X})$ получить также описание $\mathbf{S}^*$, соответствующее этому изображению, т. е. найти оптимальный допустимый вариант $\bar{B}^* = (\bar{V}^*, \mathbf{S}^*)$. Наиболее существенными особенностями двумерных грамматик являются их универсальность (любое множество изображений можно задать с помощью соответствующей двумерной грамматики) и конструктивность (разработаны эффективные алгоритмы нахождения оптимального допустимого ва-

рианта B^*). Другое достоинство таких алгоритмов заключается в том, что они работают непосредственно со зрительным сигналом, что не исключает возможности использования различных методов предварительной обработки изображений. Отметим, что элементарные изображения грамматик, описывающих сложные эталонные изображения, могут иметь постоянные размеры (что сужает возможности двумерного программирования) и неодинаковые размеры. В последнем случае такие элементарные изображения относятся к так называемым блочным двумерным грамматикам.

Решение задачи (1) при большом уровне помех требует довольно значительных вычислительных затрат при решении практических задач. Однако, как правило, существует возможность распараллеливания вычислительного процесса при реализации алгоритмов двумерного программирования. При малых уровнях помех такие алгоритмы не являются более сложными, чем другие алгоритмы анализа изображений, но обеспечивают более высокую надежность результатов.

Однако двумерная грамматика М. И. Шлезингера предназначена для распознавания простейших бинарных графических примитивов в статических сценах. Для динамических сцен с многоуровневым движением подсистема синтаксического распознавания образов значительно усложняется. При этом появляются временные отношения между объектами, для описания которых требуется разработка подсистемы распознавания связей между образами. Именно на подсистему распознавания связей возлагается реализация основных четырех принципов распознавания динамических объектов: учет цели распознавания на начальных стадиях обработки видеопоследовательности; распознавание поведенческих ситуаций динамических объектов; оценка предыстории динамических объектов; переменное количество объектов наблюдения в сложных сценах.

Контекстная грамматика распознавания сложных сцен с многоуровневым движением объектов должна иметь средства для реализации следующих процедур:

- предварительной сегментации сцены;
- описания регионов с локальными признаками движения;
- группирования регионов с локальными признаками движения по принципу соседства;
- распознавания видеообъектов;
- группирования видеообъектов с глобальными признаками движения по уровням;
- описания многоуровневого движения в сцене;
- распознавания временных событий в сцене;
- распознавания жанра сцены (для цифровых видеотеки).

Анализ представленных процедур показывает, что в случае распознавания сложных динамических сцен с многоуровневым движением целесообразно использование трехуровневой грамматики следующего вида:

$$\mathbf{GR}_D = \langle \mathbf{V}_{O,E,G}, \mathbf{S}_{S,LM,GM}, \mathbf{T}_V, \mathbf{T}_S, \mathbf{T}_E, R_E \rangle$$

$\{\{\mathbf{E}, \mathbf{E}(a, a'); (a, a') \in \mathbf{M}\}, R_O, \{R_S, \{\mathbf{Z}, \mathbf{Z}(t, t'); (t, t') \in \mathbf{N}\}\}\}$, где $\mathbf{V}_{O,E,G}$ – основной словарь объектов, временных событий, жанров сцены; $\mathbf{S}_{S,LM,GM}$ – вспомогательный сло-

варь структурных элементов, локальных признаков движения и глобальных признаков движения; R_R – предикат построения регионов; R_O – предикат построения объектов; R_E – предикат временных событий. Элемент множества $\mathbf{E} = \mathbf{V}_{O,E,G} \cup \mathbf{S}_{S,LM,GM}$ называется событием. Множество $\mathbf{T}_E$ описывает набор событий. Множество $\mathbf{T} = \mathbf{T}_V \cup \mathbf{T}_S \cup \mathbf{T}_E$ в данном случае представляет собой объединение события и описания.

Контекстная грамматика распознавания сложных сцен с многоуровневым движением объектов реализует две задачи: задачу синтаксического анализа последовательности изображений $\mathbf{X}$ (с расширенным содержимым основного $\mathbf{V}_{O,E,G}$ и вспомогательного $\mathbf{S}_{S,LM,GM}$ словарей) в соответствии с уравнением (1) и задачу синтаксического анализа сцены $\mathbf{SC}$. Рассмотрим их более подробно.

Целью синтаксического анализа последовательности изображений $\mathbf{X}$ является распознавание динамических объектов, которые целесообразно разделить на две большие группы:

- объекты, состоящие из регионов с постоянными цветовыми, текстурными характеристиками в определенных условиях освещения и обладающие фиксированным набором проекций во фронтальной плоскости, контур которых может изменяться в соответствии с аффинной или проективной группой преобразований (объекты техногенного происхождения);
- объекты, состоящие из регионов с постоянными цветовыми, текстурными характеристиками в определенных условиях освещения и обладающие произвольным набором проекций во фронтальной плоскости с произвольно изменяющимся контуром (объекты антропометрического происхождения). При этом регионы характеризуются постоянными на некотором временном интервале относительными направлениями и значениями скоростей движения.

Эти группы характеризуются несколько отличающимися признаками, причем разброс проекций антропометрических объектов компенсируется локальными признаками движения отдельных статистически однородных регионов. Вопросы распознавания объектов с ограниченным допустимым количеством проекций наиболее хорошо проработаны, и можно предложить следующую формальную схему распознавания таких объектов. Предположим, что каждый образ представлен только одним изображением. Назовем его исходным эталоном образа и обозначим через v^j . Пусть задано также множество допустимых преобразований G_b исходного эталона, параметризованное по мешающему параметру b . Результатом применения преобразования G_b к эталону v^j является преобразованный эталон

$$V(j, b) = G_b v^j.$$

Множество значений, которые принимает эталон $V(j, b)$ при фиксированном значении j и возможных значениях $b \in B$, принято называть областью эталонов j -го образа. Наблюдаемые изображения представляют собой реализации многомерной случайной величины с известным распределением вероятностей $P(X/V(j, b))$, зависящим от преобразованного эталона $V(j, b)$ как от многомерного параметра. Величина $V(j, b)$ является математическим ожиданием или модой этого распределения.

Такая формальная схема позволяет при известном распределении $P(\mathbf{X}/V)$ и известной зависимости преобразованного эталона от параметров j и b решить задачу распознавания. Для решения задачи применим метод максимального правдоподобия. Для принятия решения о значении параметра j необходимо найти максимум функции правдоподобия по параметрам j и b и взять в качестве решения d то значение j , при котором достигается этот максимум:

$$V^*(\mathbf{X}) = \arg \max_j \max_{b \in B} P(\mathbf{X}/V(j, b)). \quad (2)$$

Решение d не изменится, если заменить функцию правдоподобия любой другой функцией от параметра, значения которой связаны со значениями $P(\mathbf{X}/V(j, b))$ монотонно возрастающей зависимостью, т. е. если $g(\mathbf{X}, V)$ – любая функция от параметров $\mathbf{X}$ и V , удовлетворяющая условию

$$P(\mathbf{X}/V) = f(g(\mathbf{X}, V)), \quad (3)$$

где $f(\cdot)$ – монотонно возрастающая функция, то правило (2) может быть заменено следующим выражением:

$$V^*(\mathbf{X}) = \arg \max_j \max_{b \in B} g(\mathbf{X}, V(j, b)). \quad (4)$$

Положение принципиально не изменится, если функция $f(\cdot)$ будет монотонно убывающей, но при этом в выражениях (2) и (4) операцию максимизации следует заменить операцией минимизации. Поскольку решающее правило (4) можно понимать как правило нахождения таких значений j и b , при которых сходство наблюдаемого изображения $\mathbf{X}$ с преобразованным эталоном $V(j, b)$ максимально, то значение всякой функции $g(\mathbf{X}, V)$, удовлетворяющей условию (3), можно понимать как меру сходства эталона V с изображением $\mathbf{X}$. Решением является значение j , найденное в соответствии с выражением (4).

Синтаксический анализ последовательности изображений объектов с неограниченным количеством проекций происходит намного сложнее. Здесь невозможно задать заранее множество допустимых преобразований, требуется рекуррентная процедура слежения за регионами с локальными признаками движения с их последующим группированием в единый видеообъект. В этом случае изменяется структура эталона $V^*(\mathbf{X})$, состоящего из множества регионов, каждый из которых обладает своим набором локальных признаков движения. Таким образом, рекуррентная процедура нахождения эталонного изображения $V_i^*(\mathbf{X})$ на i -м шаге, порождаемого грамматикой $\mathbf{GR}_D$, максимизирует функцию сходства следующего вида:

$$V_i^*(\mathbf{X}) = V_{i-1}^*(\mathbf{X}) + \gamma_i f_V(\mathbf{X}_{i-1}, \Delta_i), \quad (5)$$

где $i, i-1$ – шаги аппроксимации; γ_i – некоторая функция, зависящая от шага аппроксимации (например, последовательность положительных чисел); Δ_i – изменяемая в процессе анализа последовательности изображений величина; $V_i^*(\mathbf{X}) = \arg \max_j P(\mathbf{X}/V(j))$ – функция сходства на i -м шаге.

Функция (5) является разновидностью метода стохастической аппроксимации для решения задачи обучения распознаванию образов. Для организации рекуррентной процедуры (5) важную роль играет выбор функции потерь. Так, например, можно применить следующее пра-

вило: если с помощью некоторой разделяющей функции изображение классифицируется правильно, то штраф равен нулю. Если классификация произведена неверно, то назначается штраф, величина которого пропорциональна расстоянию от вектора, соответствующего распознаваемому изображению, до разделяющей гиперплоскости.

Целью синтаксического анализа сцены **SC** является распознавание событий, производимых одиночными объектами, взаимодействующими объектами, а также определение жанра динамической сцены. Эти вопросы относятся к проблемам понимания изображений и анализу сцен. В случае сложной сцены до распознавания событий следует создать модель многоуровневого движения, т. е. определить количество значимых уровней (в простейшем случае принимают решение о существовании двух уровней – переднего плана и фона) и соотнести каждый распознанный видеообъект с тем или иным уровнем. Такая задача является наиболее востребованной для случаев виртуальной 3D-реконструкции в картографии, системах навигации и т. д., когда видеодатчик установлен на перемещающуюся платформу, и происходит относительное движение всех объектов сцены. При этом возникает впечатление, что объекты, расположенные ближе к камере, «перемещаются» быстрее, чем удаленные объекты. В этом случае модель глобального движения можно назвать моделью многоуровневого движения, определяющей набор различных, но внутренне подобных уровней движения, которые отвечают твердым телам, расположенным на различном расстоянии от движущейся камеры и k сегментам на изображении [3]. Предположим, что уровни движения заданы в параметрической форме, и имеется h уровней движения. Для последовательности изображений требуется определить: а) уровень движения, к которому относится каждый видеообъект; б) значения параметров каждого уровня. По известному уровню движения определяются значения параметров уровня, и наоборот, зная значения параметров, можно установить, к какому уровню движения относится видеообъект.

При синтаксическом анализе сцены временные события, накопленные в виде некоторой предыстории, уже допускают разделение на классы движений и их интерпретацию на понятийном уровне. Движения в видеопоследовательностях с учетом их повторяемости во времени и пространстве можно разделить на три класса: временные текстуры, активные действия и события. Временные текстуры определяются как статистические регулярности в пространстве и времени (морские волны, движение облаков, листья, птиц в стае и т. д.). Активные действия интерпретируются как некие повторяемые во времени (но не в пространстве) структуры (хождение людей, танцы, движения отдельных животных, насекомых и т. д.). События состоят из изолированных простых движений, не повторяющихся во времени и пространстве (выражения лица, приход в помещение, бросание мяча и т. д.). Для динамически изменяемой сцены появляются дополнительные характеристики объектов, такие как предыстория движения объекта и процедура ассоциации, используемой для окончательного формирования понятий и для интерпретации сцены в терминах этих понятий. Предыстория движения объекта как функция координат от вре-

мени может быть подвергнута грубой аппроксимации, поскольку здесь требуется установить характер движения, а не его конкретные характеристики. Затем она интерпретируется как некое событие движения объекта на понятийном уровне, при этом существенную роль играет анализ временных отношений между объектами (рукопожатие, обсуждение, агрессивное действие и т. д.) [4].

Для интерпретации сцены следует воспользоваться процедурой ассоциации, которую характеризуют два показателя [5]:

- величина ассоциации как мера сходства, учитывающая близость векторов признаков объектов сцены, близость относительных преобразований этих объектов и важность объектов;

- след ассоциации как подмножество объектов, охваченных глобальным событием движения.

Для формирования ассоциаций с каждым объектом базы знаний O_j , помимо его непосредственного описания, сопоставлен набор дополнительных характеристик, значения которых вычисляются в соответствии с общей динамикой сцены:

- близость $r_j^t = r(O_j, O')$ к объекту интереса, определяющая принадлежность следу;

- близости $q_k^t = q(V_k, V')$ отношений с соседними (по связям) объектами O_k ;

- величина ассоциации $a_j^t = \max_k (0, a_j^{t-1} - c, q_k^t \cdot a_k^t + r_j^t)$, ($c \ll 1$), определяющая важность, по максимуму которой на след ассоциации обращается особое внимание.

Формирование понятий основано на пропорциональном величинам ассоциации увеличению весов объектов, принадлежащих следам ассоциаций. Понятия строятся в виде часто встречающихся подструктур, состоящих из достаточно важных объектов.

Таким образом, нами были рассмотрены основы проектирования формальных грамматик в рамках структурного подхода распознавания образов. Предложена структура системы синтаксического распознавания образов, состоящая из модуля предварительной обработки, модуля описания и модуля синтаксического анализа. Подроб-

но рассмотрена двумерная грамматика М. И. Шлезингера для распознавания бинарных графических примитивов в статических сценах. Показано, что для распознавания сложных сцен с многоуровневым движением объектов целесообразно использовать трехуровневую грамматику, включающую основной словарь объектов, временных событий, жанров сцены, вспомогательный словарь структурных элементов, локальных признаков движения и глобальных признаков движения, предикат построения регионов, предикат построения объектов и предикат временных событий. Предложены процедуры распознавания объектов, основанные на допустимых преобразованиях и рекуррентной процедуре стохастической аппроксимации в зависимости от количества допустимых проекций видеообъектов во фронтальной плоскости. Для интерпретации сложной сцены с многоуровневым движением разработана процедура ассоциации, вычисляющую близость векторов признаков объектов сцены.

Библиографические ссылки

1. Фаворская М. Н. К вопросу об использовании формальных грамматик при распознавании объектов в сложных сценах // Решетневские чтения : материалы XIII междунар. науч. конф. Ч. 2. Красноярск, 2009. С. 540–541.
2. Шлезингер М. И. Синтаксический анализ двумерных зрительных сигналов в условиях помех // Кибернетика. 1976. № 4. С. 76–82.
3. Фаворская М. Н. Вероятностные методы сегментации видеопотока как задача с недостающими данными // Вестник СибГАУ. Вып. 3 (16). Красноярск, 2007. С. 4–8.
4. Video Event Classification Using Bag of Words and String Kernels / L. Ballan, M. Bertini, A. del Bimbo, G. Serra // ICAP'09, 2009. P. 170–178.
5. Фаворская М. Н. Локальные пространственно-временные признаки событий в видеопоследовательностях // Теорет. и прикл. вопросы соврем. информ. технологий : материалы X междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. Улан-Удэ, 2009. С. 461–466.

M. N. Favorskaya, A. M. Popov

FORMING OF CONTEXT-DEPENDENT GRAMMAR FOR DESCRIBING OF COMPLEX SCENE WITH MULTI-LEVEL MOVING OF OBJECTS

The problems of forming of the context-dependent grammar which describes structural information of both image and interaction of the images in a complex scene are considered. The work suggests the application of three-level grammar based on the task of image sequences syntactic analysis (with extended contents of the main and auxiliary dictionaries), and the task of scene syntactic analysis with multi-level moving of objects.

Keywords: context-dependent grammar, syntactic analysis, multi-level movin.

© Фаворская М. Н., Попов А. М., 2010

О МНОГОМЕРНОМ АНАЛОГЕ АЛГОРИТМА КУЛИ–ТЬЮКИ*

Представлено применение рекуррентных последовательностей ортогональных базисов на n -мерный случай для вывода формул варианта быстрого n -мерного преобразования Фурье, использующего $\frac{2^n-1}{2^n} N^n \log_2 N$ комплексных умножений и $nN^n \log_2 N$ комплексных сложений, где $N = 2^s$ – число отсчетов по одной из осей.

Ключевые слова: пространство сигналов, последовательность ортогональных базисов, многомерное дискретное преобразование Фурье.

Рекуррентные последовательности ортогональных базисов в пространстве сигналов хорошо изучены [1] и имеют многочисленные приложения, в том числе для получения формул быстрого преобразования Фурье.

В данной работе обобщение рекуррентных последовательностей ортогональных базисов на n -мерный случай применяется для вывода формул варианта быстрого n -мерного преобразования Фурье (нБПФ), использующего $\frac{2^n-1}{2^n} N^n \log_2 N$ комплексных умножений и $nN^n \log_2 N$ комплексных сложений, где $N = 2^s$ – число отсчетов по одной из осей (известный в литературе, см., например [2]). Этот вариант нБПФ содержит меньшее число операций комплексного умножения, чем обычно применяемый, в котором многомерное преобразование Фурье осуществляется повторным применением одномерных БПФ (см., например, [3; 4]).

При построении n -мерных рекуррентных последовательностей ортогональных базисов мы придерживаемся схемы изложения, предложенной в [1] для одномерного случая.

Пространство периодических n -мерных сигналов. Для полноты изложения мы приводим определения и основные утверждения из теории многомерных сигналов, которые будем использовать далее.

Определение 1. При фиксированном N будем называть n -мерным периодическим сигналом периодическую, с периодом N по каждой переменной, комплекснозначную функцию целочисленного аргумента.

Вместе с операциями сложения двух сигналов x_1, x_2 :

$$y(j) = x_1(j) + x_2(j)$$

и умножения сигнала x на комплексное число c :

$$y(j) = c \cdot x(j),$$

где $x(j)$ – отсчет сигнала x в точке $j \in \mathbb{Z}^n$, множество сигналов C_N^n становится линейным комплексным пространством. Нулевым элементом в C_N^n является сигнал O такой, что $O(j) = 0$ при всех $j \in \mathbb{Z}^n$. Введем в C_N^n скалярное произведение и норму:

$$\langle x, y \rangle = \sum_{j \in B_n(N)} x(j) y(j),$$

$$\|x\| = \langle x, x \rangle^{1/2},$$

где $B_n(N)$ – множество целочисленных векторов из $[0, N-1]^n$.

Определение 2. Единичным n -мерным периодическим, с периодом N по каждой переменной, импульсом назовем сигнал δ_N^n такой, что $\delta_N^n(j) = 1$, если каждая координата вектора j делится на N и $\delta_N^n(j) = 0$ в противном случае.

Для единичного импульса справедливы следующие утверждения, вытекающие сразу из определения.

1. $\delta_N^n(j_1, \dots, j_n) = \delta_N^n(|j_1|, \dots, |j_n|)$;
2. $\delta_N^n(j_1, \dots, j_n) = \delta_N^1(j_1) \cdot \dots \cdot \delta_N^1(j_n)$;
3. Для $x \in C_N^n$ справедливо равенство

$$x(j) = \sum_{t \in B_n(N)} x(t) \delta_N^n(j-t) \quad (1)$$

при любом $j \in B_n(N)$.

Пусть $w_N = \exp(\frac{2\pi i}{N})$. Тогда справедлива лемма 1:

$$\delta_N^n(j) = \frac{1}{N^n} \sum_{t \in B_n(N)} w_N^{(j,t)}, \quad (2)$$

где (j, t) – скалярное произведение векторов j и t .

Равенство (2) проверяется непосредственно.

Определение 3. n -кратным дискретным преобразованием Фурье (ДПФ) называется отображение $F_N : C_N^n \rightarrow C_N^n$, сопоставляющее с сигналом x сигнал X со значениями

$$X(j) = \sum_{t \in B_n(N)} x(t) w_N^{-(j,t)}, \quad j \in B_n(N).$$

Отметим, что для ДПФ справедлива формула обращения

$$x(t) = \frac{1}{N^n} \sum_{j \in B_n(N)} X(j) \cdot w_N^{(j,t)}$$

и равенство Парсеваля: если $X = F_N(x)$, $Y = F_N(y)$, то

$$\langle x, y \rangle = \frac{1}{N^n} \langle X, Y \rangle.$$

Рекуррентные последовательности ортогональных базисов. Положим $N = 2^s$, $N_v = 2^{s-v}$, $\Delta_v = 2^{v-1}$. Построим рекуррентную последовательность базисов $f_0, f_1, \dots, f_s$, где f_t – t -й базис, состоящий из N^n сигналов $f_t(k)$, $k \in B_n(N)$. Значение сигнала $f_t(k)$ в отсчете $j = (j_1, \dots, j_n)$, $j \in B_n(N)$ будем обозначать, как $f_t(k; j)$.

Обозначим через $B_n^1(N)$ множество целочисленных векторов из $[0, N_v - 1]^n$, а через $B_n^2(N)$ множество целочисленных векторов из $[0, \Delta_v - 1]^n$. Определим последовательность ортогональных базисов следующим образом:

* Работа поддержана грантом РФФИ 07-01-00326.

$$\begin{aligned}
 f_0(k; j) &= \delta_N^n(j - k) = \\
 &= \delta_N^1(j_1 - k_1) \delta_N^2(j_2 - k_2) \dots \delta_N^n(j_n - k_n), k, j \in B_n^N; \\
 &f_v(l_1 + \sigma_1 \Delta_v + p_1 \Delta_{v+1}, l_2 + \sigma_2 \Delta_v + \\
 &+ p_2 \Delta_{v+1}, \dots, l_n + \sigma_n \Delta_v + p_n \Delta_{v+1}) = \\
 &= \sum_{\tau_1=0}^1 \dots \sum_{\tau_n=0}^1 \sum_{\tau_n=0}^n w_{\Delta_{v+1}}^{i=0} \times \\
 &\times f_{v-1}(l_1 + 2\Delta_v p_1 + \tau_1 \Delta_v, \dots, l_n + 2\Delta_v p_n + \tau_n \Delta_v),
 \end{aligned} \quad (3)$$

где $p = (p_1, \dots, p_n) \in B_n^1(N)$; $l = (l_1, \dots, l_n) \in B_n^2(N)$; σ_i равно 0 или 1 при всех $i = 1, \dots, n$; $v = 1, \dots, s$.

Для изучения свойств рекуррентной последовательности базисов полезно использовать понятие реверсной перестановки [1].

Пусть j – целое число из множества $J = \{0, 1, \dots, 2^v - 1\}$ представимо в двоичной системе в виде $j_{v-1}2^{v-1} + \dots + j_12 + j_0$ где $j_i = 0, 1$ для всех $i = 0, \dots, v-1$. Вектор $(j_{v-1}, \dots, j_1, j_0)_2$ будем называть двоичным кодом числа j . Сопоставим с числом j число $j_1 \in J$, которое задается двоичным кодом $(j_0, j_1, \dots, j_{v-1})_2$. Перестановка $\text{rev}_v(j) = j_1$ множества J называется реверсной. Для реверсной перестановки справедливы равенства:

$$\begin{aligned}
 2\text{rev}_{v-1}(q) &= \text{rev}_v(q); \\
 2\text{rev}_{v-1}(q) + 1 &= \text{rev}_v(\Delta_v + q).
 \end{aligned} \quad (4)$$

Используя реверсную подстановку, легко показать, что

$$\begin{aligned}
 f_v(l_1 + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, l_n + p_n \Delta_{v+1}) &= \\
 &= \sum_{q_1=0}^{\Delta_{v+1}-1} \dots \sum_{q_n=0}^{\Delta_{v+1}-1} \sum_{q_n=0}^n w_{\Delta_{v+1}}^{i=0} f_0(q_1 + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, q_n + p_n \Delta_{v+1}),
 \end{aligned}$$

где $p = (p_1, \dots, p_n) \in B_n^1(N)$, $l = (l_1, \dots, l_n) \in B_n^2(N)$, $v = 1, \dots, s$.

В частности, при $v = s$ имеем

$$\begin{aligned}
 f_s(l; j) &= \sum_{q_1=0}^{N-1} \dots \sum_{q_n=0}^{N-1} \sum_{q_n=0}^n w_N^{i=1} \times \\
 &\times \delta_N^n(j_1 - q_1, \dots, j_n - q_n) = w_N^{i=0} \sum_{q_n=0}^n l_i^{\text{rev}_v(q_i)}
 \end{aligned}$$

Теорема 1. При каждом $v = 0, \dots, s$ система сигналов $f_v = f_v(k)$, $k \in B_n(N)$, ортогональна и $\|f_v(k)\|^2 = 2^{nv}$.

Доказательство. Пусть $v = 0$. Тогда

$$\langle f_0(k), f_0(k') \rangle = \sum_{j \in B_n(N)} \delta_N^n(j - k) \cdot \delta_N^n(j - k').$$

Последняя сумма может быть отлична от нуля только в том случае, когда $k = k'$, а в остальных случаях она равна 1, и теорема доказана.

Пусть теперь $v = 1, \dots, s$. Возьмем $k, k' \in B_n(N)$, которые представим в следующем виде:

$$k = (k_1, \dots, k_n) = (l_1 + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, l_n + p_n \Delta_{v+1}),$$

$$k' = (k'_1, \dots, k'_n) = (l'_1 + p'_1 \Delta_{v+1}, \dots, l'_n + p'_n \Delta_{v+1}),$$

где $l = (l_1, \dots, l_n)$ и $l' = (l'_1, \dots, l'_n)$ принадлежат $B_n^2(N)$, а $p = (p_1, \dots, p_n)$ и $p' = (p'_1, \dots, p'_n)$ принадлежат $B_n^1(N)$. Тогда

$$\begin{aligned}
 \langle f_v(k), f_v(k') \rangle &= \langle f_v(l_1 + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, l_n + p_n \Delta_{v+1}), \\
 &f_v(l'_1 + p'_1 \Delta_{v+1}, \dots, l'_n + p'_n \Delta_{v+1}) \rangle = \\
 &= \langle \sum_{q_1=0}^{\Delta_{v+1}-1} \dots \sum_{q_n=0}^{\Delta_{v+1}-1} \sum_{q_n=0}^n w_{\Delta_{v+1}}^{i=0} f_0(q_1 + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, q_n + p_n \Delta_{v+1}), \\
 &\sum_{q'_1=0}^{\Delta_{v+1}-1} \dots \sum_{q'_n=0}^{\Delta_{v+1}-1} \sum_{q'_n=0}^n w_{\Delta_{v+1}}^{i=0} f_0(q'_1 + p'_1 \Delta_{v+1}, \dots, q'_n + p'_n \Delta_{v+1}) \rangle = \\
 &= \sum_{q_1=0}^{\Delta_{v+1}-1} \dots \sum_{q_n=0}^{\Delta_{v+1}-1} \sum_{q'_1=0}^{\Delta_{v+1}-1} \dots \sum_{q'_n=0}^{\Delta_{v+1}-1} \sum_{q'_n=0}^n w_{\Delta_{v+1}}^{i=1} l_i^{\text{rev}_v(q_i) - l'_i \text{rev}_v(q'_i)} \times \\
 &\times \delta_N^n(q_1 - q'_1 + (p_1 - p'_1) \Delta_{v+1}, \dots, q_n - q'_n + (p_n - p'_n) \Delta_{v+1}).
 \end{aligned}$$

Аргументы единичного импульса δ_N^n по модулю не превосходят $N-1$. При $p_i = p'_i$ при некотором t аргументы отличны от нуля при всех $q_i, q'_i \in 0 : \Delta_{v+1} - 1$, $i = 1, \dots, N$, поскольку $|q_i - q'_i| \leq \Delta_{v+1} - 1$. Значит, $\langle f_v(k), f_v(k') \rangle = 0$ при $p_j \neq p'_j$.

Пусть $p_j = p'_j$ при всех $j = 1, \dots, n$, тогда

$$\begin{aligned}
 \langle f_v(k), f_v(k') \rangle &= \sum_{q_1=0}^{\Delta_{v+1}-1} \dots \sum_{q_n=0}^{\Delta_{v+1}-1} \sum_{q_n=0}^n w_{\Delta_{v+1}}^{i=1} l_i^{\text{rev}_v(q_i) - l'_i \text{rev}_v(q_i)} = \\
 &= \sum_{q_1=0}^{\Delta_{v+1}-1} \dots \sum_{q_n=0}^{\Delta_{v+1}-1} \sum_{q_n=0}^n w_{\Delta_{v+1}}^{i=1} = \Delta_{v+1} \dots \Delta_{v+1} \delta_N^n(l_1 - l'_1, \dots, l_n - l'_n).
 \end{aligned}$$

Из последней формулы заключаем, что скалярное произведение $\langle f_v(k), f_v(k') \rangle$ отлично от нуля только при $p_j = p'_j$, $l_i = l'_i$ при всех $i, j = 1, \dots, n$. В последнем случае $\|f_v(k_1, \dots, k_n)\| = \Delta_{v+1} \dots \Delta_{v+1} = 2^{nv}$ при всех $k_1, \dots, k_n = 0 : N-1$. Теорема доказана.

Применение последовательности ортогональных базисов к быстрому дискретному преобразованию Фурье. Пусть $x(j) = x(j_1, \dots, j_n) \in C_N^n$, $j \in B_n(N)$. Сопоставим с сигналом $x(j)$ сигнал $x_0(j) = x(\text{rev}_s(j_1), \dots, \text{rev}_s(j_n))$ и разложим $x_0(j)$ по базису f_v :

$$x_0 = \frac{1}{2^{nv}} \sum_{k \in B_n(N)} x_v(k) f_v(k), \quad (5)$$

где $\frac{1}{2^{nv}}$ – нормирующий множитель. Домножим обе части равенства (5) скалярно на $f_v(l)$, для некоторого $l \in B_n(N)$. Тогда

$$\langle x_0, f_v(l) \rangle = x_v(l),$$

$$x_v(k) = \sum_{j \in B_n(N)} x_0(j) f_v(k) =$$

$$= \sum_{j \in B_n(N)} x(\text{rev}_s(j_1), \dots, \text{rev}_s(j_n)) f_v(k; j)$$

и коэффициенты $x_v(k)$ в (5) определены.

В частности, при $v = 0$ имеем из (1)

$$x_0(k) = \sum_{j \in B_n(N)} x(\text{rev}_s(j_1), \dots, \text{rev}_s(j_n))$$

$$\text{rev}_s(j_n) \delta_N^n(j - k) = x(\text{rev}_s(k_1), \dots, \text{rev}_s(k_n)). \quad (6)$$

Из рекуррентных соотношений (3) имеем:

$$\begin{aligned}
 x_v(l_1 + \delta_1 \Delta_v + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, l_n + \delta_n \Delta_v + p_n \Delta_{v+1}) &= \\
 = \langle x_0, f_v(l_1 + \delta_1 \Delta_v + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, l_n + \delta_n \Delta_v + p_n \Delta_{v+1}) \rangle &= \\
 = \sum_{\tau_1=0}^1 \dots \sum_{\tau_n=0}^1 w_{\Delta_{v+1}}^{\tau_1(l_1 + \sigma_1 \Delta_v)} \times & \\
 \times \langle x_0, f_{v-1}(l_1 + 2\Delta_v p_1 + \tau_1 \Delta_v, \dots, l_n + 2\Delta_v p_n + \tau_n \Delta_v) \rangle &= (7) \\
 = \sum_{\tau_1=0}^1 \dots \sum_{\tau_n=0}^1 w_{\Delta_{v+1}}^{\tau_1(l_1 + \sigma_1 \Delta_v)} x_{v-1} \times & \\
 \times (l_1 + 2\Delta_v p_1 + \tau_1 \Delta_v, \dots, l_n + 2\Delta_v p_n + \tau_n \Delta_v), &
 \end{aligned}$$

где $p = (p_1, \dots, p_n) \in B_n^1(N)$, $l = (l_1, \dots, l_n) \in B_n^2(N)$, $v = 1, \dots, s$, а $\sigma_1, \dots, \sigma_n$ равно 0 или 1.

Так как

$$\begin{aligned}
 x_s(k) &= x(k_1, \dots, k_n) = \\
 &= \sum_{j \in B_n(N)} x(\text{rev}_s(j_1), \dots, \text{rev}_s(j_n)) \cdot w_N^{-\sum_{i=0}^{k_i} \text{rev}_s(j_i)} = \\
 &= \sum_{j \in B_n(N)} x(j) w_N^{-\sum_{i=0}^{k_i} j_i} = X(k),
 \end{aligned}$$

где $k \in B_n(N)$, то коэффициенты $x_s(k)$ определяют компоненты спектра сигнала x на основном периоде.

Из (6) и (7) получаем рекуррентную схему для вычисления спектра сигнала $x \in C_N^n$:

$$\begin{aligned}
 x_0(k) &= x(\text{rev}_s(k_1), \dots, \text{rev}_s(k_n)); \\
 x_v(l_1 + \sigma_1 \Delta_v + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, l_n + \sigma_n \Delta_v + p_n \Delta_{v+1}) &= \\
 = \sum_{\tau_1=0}^1 \dots \sum_{\tau_n=0}^1 w_{\Delta_{v+1}}^{\tau_1(l_1 + \sigma_1 \Delta_v)} \times & (8) \\
 \times x_{v-1}(l_1 + 2\Delta_v p_1 + \tau_1 \Delta_v, \dots, l_n + 2\Delta_v p_n + \tau_n \Delta_v), &
 \end{aligned}$$

где $p = (p_1, \dots, p_n) \in B_n^1(N)$, $l = (l_1, \dots, l_n) \in B_n^2(N)$, $v = 1, \dots, s$ и $\sigma_1, \dots, \sigma_n$ равны 0 или 1.

Найдем теперь число операций комплексного сложения и умножения, необходимых для нахождения спектра сигнала по схеме (8).

Лемма 2. При некотором r даны векторы $t = (t_1, \dots, t_r)$ и $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_r)$, где $t_i, \sigma_i \in \overline{0, 1}$. Тогда вычисление всех значений некоторой функции

$$S(\sigma) = \sum_t f(t) (-1)^{\langle \sigma, t \rangle}$$

требует $r \cdot 2^r$ сложений (вычитаний).

Доказательство. Для доказательства применим индукцию по r .

Пусть $r = 2$. Тогда

$$\begin{aligned}
 S(\sigma) &= S(\sigma_1, \sigma_2) = \sum_{t_1=0}^1 \sum_{t_2=0}^1 f(t_1, t_2) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \sigma_2 t_2} = \\
 &= f(0, 0) + f(1, 0) (-1)^{\sigma_1} + \\
 &+ f(0, 1) (-1)^{\sigma_2} + f(1, 1) (-1)^{\sigma_1 + \sigma_2}.
 \end{aligned}$$

Обозначим

$$\begin{aligned}
 S_1(\sigma) &= S(0, 0) = f(0, 0) + f(1, 0) + f(0, 1) + f(1, 1) = \\
 &= (f(0, 0) + f(1, 0)) + (f(0, 1) + f(1, 1)) = S_1^* + S_3^*; \\
 S_2(\sigma) &= S(1, 0) = f(0, 0) - f(1, 0) + f(0, 1) - f(1, 1) = \\
 &= (f(0, 0) - f(1, 0)) + (f(0, 1) - f(1, 1)) = S_2^* + S_4^*; \\
 S_3(\sigma) &= S(0, 1) = f(0, 0) + f(1, 0) - f(0, 1) - f(1, 1) = \\
 &= (f(0, 0) + f(1, 0)) - (f(0, 1) + f(1, 1)) = S_1^* - S_3^*; \\
 S_4(\sigma) &= S(1, 1) = f(0, 0) - f(1, 0) - f(0, 1) + f(1, 1) = \\
 &= (f(0, 0) - f(1, 0)) - (f(0, 1) - f(1, 1)) = S_2^* - S_4^*,
 \end{aligned}$$

где

$$S_1^* = f(0, 0) + f(1, 0); \quad S_2^* = f(0, 0) - f(1, 0);$$

$$S_3^* = f(0, 1) + f(1, 1); \quad S_4^* = f(0, 1) - f(1, 1).$$

Для вычисления S_i^* , $i = 1, 2, 3, 4$ требуется применить четыре сложения (вычитания), а для вычисления всех значений S требуется восемь таких операций, и утверждение леммы верно.

Пусть утверждение леммы верно при $r = k$, т. е. для произвольной функции $g(t)$ все значения функции

$$S(\sigma_1, \dots, \sigma_k) = \sum_t g(t) (-1)^{\langle \sigma, t \rangle},$$

где $t = (t_1, \dots, t_k)$, вычисляются за $2 \cdot 2^k$ сложений (вычитаний).

Рассмотрим $r = k + 1$.

$$\begin{aligned}
 S(\sigma_1, \dots, \sigma_{k+1}) &= \\
 = \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_{k+1}=0}^1 f(t_1, \dots, t_{k+1}) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_{k+1} t_{k+1}} &= \\
 = \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 f(t_1, \dots, t_k, 0) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k} + & \\
 + \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 f(t_1, \dots, t_k, 1) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k + \sigma_{k+1}} &= \\
 = \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 (f(t_1, \dots, t_k, 0) + f(t_1, \dots, t_k, 1)) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k} &= \\
 = \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 f(t_1, \dots, t_k, 0) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k} + & \\
 + \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 f(t_1, \dots, t_k, 1) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k} &= \\
 = \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 (f(t_1, \dots, t_k, 0) - f(t_1, \dots, t_k, 1)) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k} &= \\
 = \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 f(t_1, \dots, t_k, 0) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k} - & \\
 - \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 f(t_1, \dots, t_k, 1) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k} &= \\
 = \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 (f(t_1, \dots, t_k, 0) - f(t_1, \dots, t_k, 1)) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k} &=
 \end{aligned}$$

Определим, сколько требуется операций сложения (вычитания) для вычисления S_1 и S_2 .

Обозначим

$$f^+(t_1, \dots, t_k) = f(t_1, \dots, t_k, 0) +$$

$$+ f(t_1, \dots, t_k, 1), \quad f^-(t_1, \dots, t_k) = f(t_1, \dots, t_k, 0) - f(t_1, \dots, t_k, 1).$$

Для вычисления всех значений f^+ требуется 2^k сложений

$$\text{и для вычисления } S_1 = \sum_{t_1=0}^1 \dots \sum_{t_k=0}^1 f^+(t_1, \dots, t_k) \cdot (-1)^{\sigma_1 t_1 + \dots + \sigma_k t_k}$$

требуется $k2^k$ согласно индукционному предположению.

Тогда общее количество операций сложения (вычитания) для вычисления S_1 составит $k2^k + 2^k$. Такое же количество операций необходимо для S_2 .

Поэтому определение всех значений S требует $(k+1)2^{k+1}$ сложений (вычитаний), что и требовалось доказать.

Теорема 2. Рекуррентная схема вычисления спектра сигнала $x \in C_N^n$ ($N = 2^s$)

$$\begin{aligned} x_0(k) &= x(\text{rev}_s(k_1), \dots, \text{rev}_s(k_n)); \\ x_v(l_1 + \sigma_1 \Delta_v + p_1 \Delta_{v+1}, \dots, l_n + \sigma_n \Delta_v + p_n \Delta_{v+1}) &= \\ &= \sum_{\tau_1=0}^1 \dots \sum_{\tau_n=0}^1 w_{\Delta_{v+1}}^{i=0} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{(l_i + \sigma_i \Delta_v)} \times \\ &\times x_{v-1}(l_1 + 2\Delta_v p_1 + \tau_1 \Delta_v, \dots, l_n + 2\Delta_v p_n + \tau_n \Delta_v), \end{aligned} \quad (9)$$

требует $\frac{2^n - 1}{2^n} N^n \log_2 N$ комплексных умножений и $nN^n \log_2 N$ комплексных сложений.

Доказательство. Вначале найдем число комплексных умножений. Комплексные умножения производятся только

ко при умножении на $w_{\Delta_v}^{i=0}$. Определим, сколько требуется произведений (9) при заданных параметрах $v^*, l^* = (l_1^*, \dots, l_n^*)$ и $p^* = (p_1^*, \dots, p_n^*)$. Для этого рассмотрим произведения

$$\begin{aligned} &\sum_{w_{\Delta_{v+1}}^{i=0}} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{(l_i^* + \sigma_i \Delta_{v^*})} \times \\ &\times x_{v^*-1}(l_1^* + 2p_1^* \Delta_v + \tau_1 \Delta_{v^*}, \dots, l_n^* + 2p_n^* \Delta_v + \tau_n \Delta_{v^*}), \end{aligned}$$

где $\sigma_i \in \overline{0,1}$.

Заметим, что

$$\begin{aligned} \sum_{w_{\Delta_{v+1}}^{i=0}} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{(l_i^* + \sigma_i \Delta_{v^*})} &= \sum_{w_{\Delta_{v+1}}^{i=0}} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{l_i^* + \tau_i \sigma_i \Delta_{v^*}} = \\ &= \sum_{w_{\Delta_{v+1}}^{i=0}} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{\tau_i \sigma_i} \cdot \sum_{w_{\Delta_{v+1}}^{i=0}} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{l_i^*} = (-1)^{\sum_{i=0}^n \tau_i \sigma_i} \cdot \sum_{w_{\Delta_{v+1}}^{i=0}} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{l_i^*}, \end{aligned} \quad (10)$$

т. е. произведение

$$\begin{aligned} &\sum_{w_{\Delta_{v+1}}^{i=0}} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{(l_i^* + \sigma_i \Delta_{v^*})} \times \\ &\times x_{v^*-1}(l_1^* + 2p_1^* \Delta_v + \tau_1 \Delta_{v^*}, \dots, l_n^* + 2p_n^* \Delta_v + \tau_n \Delta_{v^*}) \end{aligned}$$

при фиксированных (определенных) параметрах $v^*, l^* = (l_1^*, \dots, l_n^*)$ и $p^* = (p_1^*, \dots, p_n^*)$ можно заменить на комплексное произведение

$$\sum_{w_{\Delta_{v+1}}^{i=0}} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{\tau_i \sigma_i} \cdot x_{v^*-1}(l_1^* + 2p_1^* \Delta_v + \tau_1 \Delta_{v^*}, \dots, l_n^* + 2p_n^* \Delta_v + \tau_n \Delta_{v^*}), \quad (11)$$

поскольку величина $(-1)^{\sum_{i=0}^n \tau_i \sigma_i}$ может принимать значения только ± 1 .

Число комплексных произведений вида (11) равно числу всевозможных векторов $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_n)$, где $\tau_i \in \overline{0,1}$, т. е. $2^n - 1$, так как при $r = 0$ имеем произведение действительных чисел. Так как параметр $v \in 1:s$, векторы $l = (l_1, \dots, l_n)$ и $p = (p_1, \dots, p_n)$, где $p_i = 0, 1, \dots, N^v - 1$ ($N^v = N / 2^v$), $l_i = 0, 1, \dots, \Delta_v - 1$ ($\Delta_v = 2^{v-1}$), то общее количество комплексных умножений равно $s(\frac{N}{2^v} \cdot 2^{v-1})^n \cdot (2^n - 1) = \frac{2^n - 1}{2^n} N^n \log_2 N$.

Найдем количество комплексных сложений в алгоритме. При фиксированном v^* и $l^* = (l_1^*, \dots, l_n^*), p^* = (p_1^*, \dots, p_n^*)$ имеем

$$\begin{aligned} &x_v(l_1^* + \sigma_1 \Delta_{v^*} + p_1 \Delta_{v^*+1}, \dots, l_n^* + \sigma_n \Delta_{v^*} + p_n \Delta_{v^*+1}) = \\ &= \sum_{\tau_1=0}^1 \dots \sum_{\tau_n=0}^1 w_{\Delta_{v^*+1}}^{i=0} \sum_{\tau_i=0}^1 w_{\Delta_v}^{(l_i^* + \sigma_i \Delta_{v^*})} \times \\ &\times x_{v^*-1}(l_1^* + 2p_1^* \Delta_v + \tau_1 \Delta_{v^*}, \dots, l_n^* + 2p_n^* \Delta_v + \tau_n \Delta_{v^*}). \end{aligned} \quad (12)$$

Из (10) следует, что для вычисления (12) нам требуется вычислить выражения

$f(\tau) = w_{\Delta_{v^*+1}}^{i=0} x_{v^*-1}(l_1^* + 2p_1^* \Delta_v + \tau_1 \Delta_{v^*}, \dots, l_n^* + 2p_n^* \Delta_v + \tau_n \Delta_{v^*})$, которые зависят только от $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_n)$, где $\tau_i \in \overline{0,1}$. Тогда (12) можно представить как

$$\begin{aligned} &x_v(l_1^* + \sigma_1 \Delta_{v^*} + p_1 \Delta_{v^*+1}, \dots, l_n^* + \sigma_n \Delta_{v^*} + p_n \Delta_{v^*+1}) = \\ &= \sum_{\tau_1=0}^1 \dots \sum_{\tau_n=0}^1 (-1)^{\sum_{i=0}^n \tau_i \sigma_i} \cdot f(\tau). \end{aligned}$$

Теперь из леммы 2 для вычисления $x_v(l_1^* + \sigma_1 \Delta_{v^*} + p_1 \Delta_{v^*+1}, \dots, l_n^* + \sigma_n \Delta_{v^*} + p_n \Delta_{v^*+1})$ потребуется $n2^n$ комплексных сложений.

Так как параметр $v \in 1:s$, векторы $l = (l_1, \dots, l_n)$ и $p = (p_1, \dots, p_n)$, где $p_i = 0, 1, \dots, N^v - 1$ ($N^v = N / 2^v$), $l_i = 0, 1, \dots, \Delta_v - 1$ ($\Delta_v = 2^{v-1}$), то общее количество комплексных сложений (вычитаний) равно

$$s(\frac{N}{2^v} \cdot 2^{v-1})^n \cdot (n2^n) = nN^n \log_2 N. \text{ Теорема доказана.}$$

Библиографические ссылки

1. Малоземов В. Н., Машарский С. М. Основы дискретного гармонического анализа. Ч. 2. СПб.: НИИ математики и механики, 2003.
2. Даджон Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: пер. с англ. М.: Мир, 1988.
3. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1989.
4. Опенгейм А. В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ.; под ред. С. Я. Шаца. М.: Связь, 1979.

A. V. Starovoytov

ABOUT MULTIDIMENSIONAL ANALOG OF ALGORITHM OF COOLEY–TUKEY

In this article, recurring sequences of orthogonal basis in n -dimensional case has being applied for express of formulas of the n -dimensional fast Fourier transformation, which using $\frac{2^n - 1}{2^n} N^n \log_2 N$ complex multiplication and $nN^n \log_2 N$ complex addition, where $N = 2^s$ – number of counting on one of the axis.

Keywords: space of signals, orthogonal basis sequence, multidimensional discrete Fourier transform.

© Старовойтов А. В., 2010

УДК 539.21:537.86

С. С. Аплеснин, А. И. Москвин

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ИНДУЦИРУЕМЫЙ ОРБИТАЛЬНЫМ УПОРЯДОЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРОНОВ

Исследована взаимосвязь орбитального порядка и температуры образования спонтанного магнитного момента, постоянной решетки, корреляционных функций орбитальных и магнитных моментов между ближайшими соседями в непрерывной модели Потса для ряда параметров электрон-решеточного и спин-решеточного взаимодействия. Найдено изменение диэлектрической проницаемости и орбитальных корреляционных функций во внешнем магнитном поле.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, магнитоэлектрический эффект, электрон-решеточное взаимодействие, орбитальный и спиновый момент.

Исследование мультиферроиков, в которых сосуществует хотя бы два из трех параметров порядка: магнитный, электрический или кристаллографический [1], является актуальной задачей, так как описывает возможность с помощью электрического поля управлять магнитными свойствами материала и, наоборот, осуществлять модуляцию электрических свойств магнитным полем. В перспективе такие материалы могут найти широкое техническое применение в качестве сенсоров, датчиков, устройств записи-считывания информации. Если в спиновой электронике запись информации происходит путем преобразования намагниченности в электрическое напряжение, то в мультиферроиках связь между магнитной и электрической подсистемами проявляется через магнитоэлектрический эффект [2; 3].

Твердые растворы $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ можно отнести к классу мультиферроиков [4]. В области температур $T = 230$ К обнаружена корреляция между упругой, магнитной и электрической подсистемами. Это подтверждается следующими фактами: найдено изменение угла наклона постоянной решетки, сдвиг пика поглощения рамановской моды, зависимость от предыстории температурного поведения намагниченности и сопротивления при «отжиге» в магнитном поле, нелинейной зависимостью вольт-амперной характеристики в магнитном поле, и наличие максимума в изменении диэлектрической проницаемости во внешнем магнитном поле от температуры [5]. На взаимодействие между электрической, магнитной и уп-

ругой подсистем при температурах $T = 120$ К указывает также образование ферромагнитного порядка, максимум по температуре относительного изменения диэлектрической проницаемости, измеренной во внешнем магнитном поле и в отсутствие поля [6], аномалия коэффициента теплового расширения решетки.

Предполагается, что замещение ионов марганца кобальтом приводит к перераспределению электронной плотности между e_g - и t_{2g} -состояниями. Конкуренция кулоновского взаимодействия между электронами, расположенными на одной орбитали и между орбиталями, совместно с изменением интегралов перескока приводит к упорядочению электронов на определенных орбиталях и к орбитальному магнетизму. В результате перераспределения электронной плотности меняется упругая энергия и под действием электрон-фононного взаимодействия индуцируются связанные моды колебаний ионов.

Цель работы состоит в установлении взаимосвязи между магнитной, электрической и упругой подсистемами и определении тенденций изменения параметров решетки, величины корреляционных функций орбитальных и спиновых моментов в зависимости от параметра электрон-решеточного и спин-фононного взаимодействия.

Модель взаимосвязи электронной и упругой подсистем. Для интерпретации полученных результатов в твердом растворе $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ [5; 6] необходимо рассматривать взаимосвязь электронной и кристаллической струк-

тур. Ион кобальта содержит на два электрона больше в t_{2g} -оболочке, чем ион марганца. В этом случае перескоки между соседними узлами и разными орбиталями совершаются без изменения кулоновского взаимодействия электронов. Кроме того, увеличивается кинетическая энергия электронов вследствие образования узкой минизоны в окрестности уровня Ферми, сформированной в результате перескока электронов по ближайшим ионам марганца.

Для пары ионов марганца с наполовину заполненными орбиталями интеграл перескока электронов через анион серы можно оценить по формуле $t_{\alpha\beta}^x = E_{x,\alpha} E_{x,\beta} / [(\varepsilon_p - \varepsilon_d) + U]$, где $E_{x,\alpha}$ – интегралы перекрытия p-орбиталей серы и t_{2g} -орбиталей марганца, имеющих величину $E_{x,\beta} = 1,1$ eV; $\varepsilon_p - \varepsilon_d = 1,5$ eV – величина зарядовой щели; $U = 4$ eV. Для двух электронов на одном из пяти d-уровней ионов марганца в окружении ионов серы интеграл перекрытия равен нулю $E_{x,\alpha} = 0$ в силу принципа Паули, и при поперечных колебаниях ионов серы возможно слабое перекрытие электронных волновых функций ионов марганца с шириной минизоны $W = 2zt = 0,5 - 0,8$ eV. Таким образом, транспортные свойства связаны с перескоком дырки по e_g -орбиталям и с движением электронов по t_{2g} -состояниям. Тип носителей соответствует решеточным поляронам, т. е. движение электронов по решетке индуцирует связанные поперечные и продольные колебания ионов серы и реализуется по одной из подзон t_{2g} -зоны, обладающей орбитальным магнитным моментом, а в e_g -зоне движение носителей тока непосредственно связано с типом магнитной структуры. В результате индуцируется разная заселенность d_{xy} -, d_{xz} -, d_{yz} -орбиталей и образуется орбитально-зарядовое упорядочение, сопровождающееся упорядочением орбитальных угловых моментов.

Гамильтониан в феноменологическом представлении для двух орбиталей, обозначим их через x, y , и двух узлов можно записать в виде

$$\begin{aligned} H = & -J_1(n_{1x} - n_{1y})(n_{2x} - n_{2y})(1 - c) - \\ & -g(n_{1x} + n_{2x})(1 - c)x - g(n_{1y} + n_{2y})(1 - c)y + \\ & + \frac{1}{2}k(x^2 + y^2) - b(x^3 + y^3) - h(n_{1x} + n_{2x} - \\ & - n_{1y} - n_{2y})(1 - c) - J_2(n_{1ix} - n_{1iy})(n_{2ix} - n_{2iy})c - \\ & - KM_1M_2 - g_s(x + y)M_1M_2 - \lambda(1 - c)(n_{1x} - n_{1y}) \times \\ & \times M_1 - \lambda(1 - c)(n_{2x} - n_{2y})M_2 - h(M_1 + M_2) - \\ & - h(n_{1ix} - n_{1iy} + n_{2ix} - n_{2iy})c - \\ & - c\lambda(n_{1ix} - n_{1iy})M_1 - \lambda(n_{2ix} - n_{2iy})M_2c, \end{aligned}$$

где $n_{1,2ix}$, $n_{1,2xy}$ – электронная плотность на орбиталях d_{xz} -, d_{yz} -ионов марганца, окружающих ион кобальта, концентрация которого равна c , и на ионах марганца в матрице с концентрацией $(1 - c)$; J_1 и J_2 – обменные взаимодействия между орбитальными магнитными моментами Mn–Mn и Co–Mn; g – параметр электрон-решеточного взаимодействия; x, y – смещения ионов в направлениях, соответствующих сторонам квадрата; k, b – упругие константы; h – магнитное поле; a – постоянная решетки; $K < 0$ – обменное взаимодействие между магнитными

моментами M_1 и M_2 ; g_s – константа спин-решеточного взаимодействия; λ – параметр спин-орбитальной связи. При взаимодействии орбитальных и спиновых моментов возникают члены более высокого порядка (L_1L_2) и (M_1M_2) , но для t_{2g} -электронов они существенно меньше спин-орбитального взаимодействия.

В рамках такого гамильтониана мы попытаемся ответить на несколько вопросов. Как влияет концентрация кластеров Mn–Co–Mn и эффективное орбитальное взаимодействие на температуру образования спонтанного магнитного момента. Каким образом будет меняться параметр решетки при орбитально-зарядовом упорядочении, при магнитном упорядочении? К каким изменениям в температурном поведении орбитальных корреляционных функций (соответственно перераспределение заряда) приводит внешнее магнитное поле?

Электронную плотность на t_{2g} -орбиталях ионов марганца в матрице оценим из величины спинового момента на узле $S = 4,4 m_B$ для MnS, т. е. $n_{1,2} \sim 0,1$, а электронная плотность в кластере Mn–Co может достигать величины $n_{1,2i} \sim 0,5$.

Термодинамические характеристики, корреляционную функцию между ближайшими соседями для орбитальных $\langle L_1 L_2 \rangle$, $L = n_{1x} - n_{1y}$ и магнитных $\langle M_1 M_2 \rangle$ моментов, среднюю величину смещения по осям $OX \langle x \rangle$ и $OY \langle y \rangle$ вычислим в непрерывной модели Потса, где соответствующие величины меняются в интервалах $0 < n_{1,2xy} < 0,1$ и $0 < n_{1,2ix} < 0,5$, $0 < x, y < 1$, $-1 < M_{1,2} < 1$.

Термодинамические характеристики модели. Коррелятор магнитных моментов в области температуры перехода из магнитоупорядоченной фазы в парамагнитную уменьшается в два-три раза и имеет точку перегиба. Поэтому температуру, при которой исчезает дальний ферромагнитный порядок орбитальных моментов, ассоциируем с температурой, при которой наблюдается перегиб в температурной зависимости корреляционных функций $\langle L_1 L_2 \rangle (T)$ и $\langle M_1 M_2 \rangle (T)$. Рассмотрим температурные зависимости корреляторов для ряда концентраций ионов кобальта (рис. 1), где можно выделить две температуры, при которых упорядочиваются орбитальные магнитные моменты ионов марганца при T_c и орбитальные моменты кластеров Mn–Co–Mn при T_{cl} . Типичное концентрационное поведение $T_{cl}(c)$ (рис. 2) для двух параметров обмена J_2/J_1 коррелирует с концентрацией кластеров Mn–Co–Mn в зависимости от концентрации кобальта, вычисленных как $c = zx(1-x)^{z-1}$ (z – число ближайших соседей для ГЦК решетки, $z = 12$). Согласно нашим расчетам, зависимость T_{cl} от величины обмена между орбитальными магнитными моментами в кластере Mn–Co–Mn линейна, где угол наклона зависит от концентрации ионов кобальта и электрон-решеточного взаимодействия, которое сдвигает температуру перехода упорядочения орбиталей в сторону высоких температур в пределах 20 % при увеличении $g/J \sim 1$. Экспериментальные результаты (рис. 1, 2) удовлетворительно описываются в модели с орбитальным упорядочением угловых моментов.

Рассмотрим влияние электрон-решеточного и спин-решеточного взаимодействия на деформацию решетки и изменение постоянной решетки с температурой (рис. 3). Даны зависимости величины среднего смещения ионов

от температуры для ряда параметров электрон-решеточного и спин-решеточного взаимодействий с учетом ангармонизма колебаний решетки (рис. 3, а). Взаимодействие электронов с учетом решеточных степеней свободы приводит к увеличению расстояния между электронами, т. е. к росту постоянной решетки. Так, смещение прямо пропорционально константе электрон-фононного взаимодействия $\langle x \rangle = gn/k$ в системах с сильными электронными корреляциями, когда кулоновское взаимодействие превышает ширину зоны, в пренебрежении ангармонизмом колебаний. С ростом величины электрон-решеточного взаимодействия наблюдается изменение величины наклона при некоторой температуре, которая сдвигается в область высоких температур с ростом параметра g .

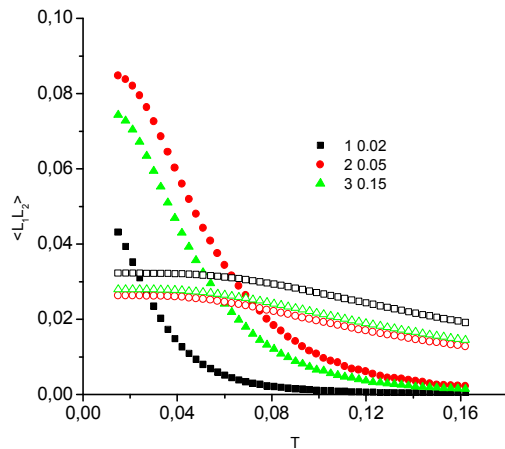


Рис. 1. Корреляционная функция магнитных орбитальных $\langle L_1 L_2 \rangle$ моментов в матрице из ионов марганца (светлые символы) и в кластере Mn–Co–Mn (темные символы) в зависимости от температуры для $J_1 = 10$, $J_2 = 6$, $g = 6$, $k = 20$, $b = 3$, $K = -0,35$, $g_s = 0,1$, $\lambda = 0,1$, $x = 0,02$ (1), $0,05$ (2), $0,15$ (3)

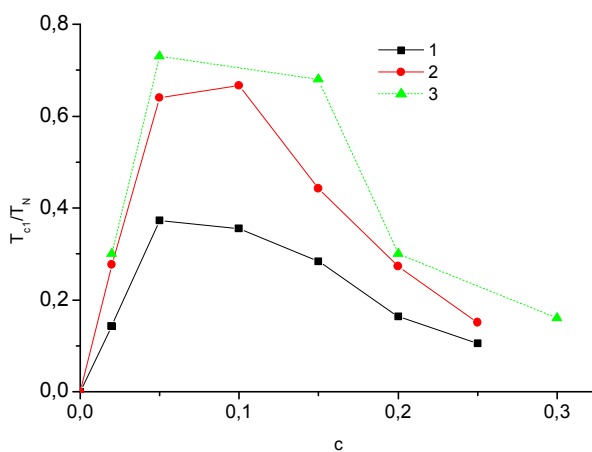


Рис. 2. Температура формирования орбитального магнитного момента в кластере Mn–Co–Mn, нормированная на температуру Нееля, для ряда параметров $J_2 = 5$ (1), 8 (2), $J_1 = 10$, $g = 6$, $k = 20$, $b = 3$, $K = -0,35$, $g_s = 0,1$, $\lambda = 0$; эксперимент (3) от концентрации кобальта

Обменное взаимодействие между локализованными спинами имеет экспоненциальную зависимость от рас-

стояния, в результате сжатия решетки плотность перекрытия волновых функций электронов растет и возрастает энергия обмена. Увеличение спин-решеточной связи приводит к смене знака средней величины смещения ионов (рис. 3, б). В результате конкуренции электрон-решеточных и спин-решеточных взаимодействий решетка сжимается. Изменение наклона зависимости $d\langle x \rangle/dT$ наблюдается в области перехода в магнитоупорядоченное состояние.

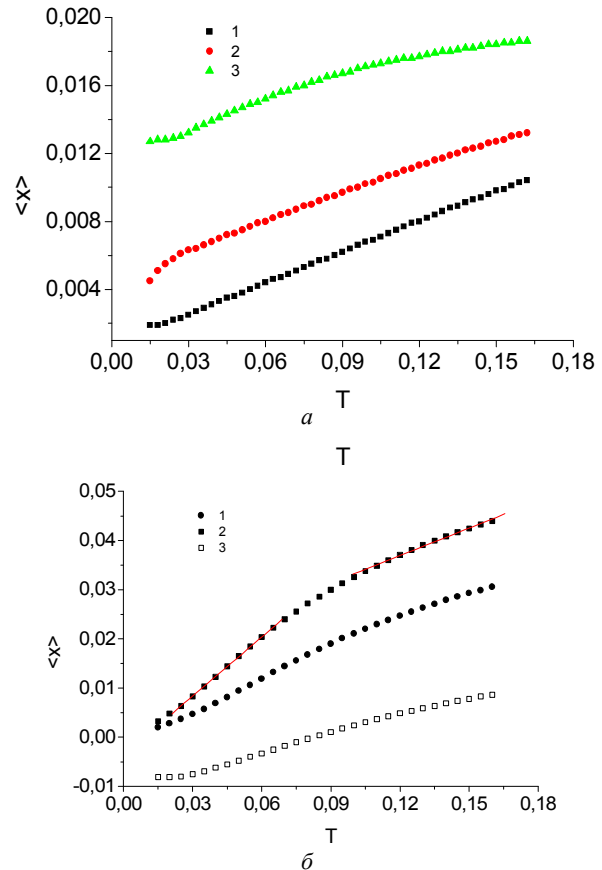


Рис. 3. Величина среднего смещения иона $\langle x \rangle$ от температуры для ряда параметров электрон-фононного взаимодействия $g = 2$ (1), 5 (2), 8 (3) с $b = 1$, $J_2 = 6$, $J_1 = 10$, $k = 20$, $K = -0,35$, $g_s = 0,1$, $l = 0$, $x = 0,15$ (а) и для двух параметров спин-фононного взаимодействия $g_s = 0,1$, $x = 0,02$ (1), $x = 0,05$ (2), $g_s = 0,2$, $x = 0,05$ (3) с $J_1 = 10$, $J_2 = 6$, $g = 6$, $k = 20$, $b = 3$, $K = -0,35$, $\lambda = 0,1$ (б)

Флуктуации спиновых магнитных моментов в двух подрешетках асимметричны при наличии спин-орбитального взаимодействия, в результате индуцируется суммарный магнитный момент ($M_1 + M_2$) с максимумом при температуре Нееля. Магнитный момент и постоянные решетки зависят от температуры (рис. 4). Взаимодействие орбитальных и спиновых моментов аналогично действию внешнего магнитного поля $h_{ef} = \lambda \langle L \rangle$, когда меняется величина намагниченности одной из подрешеток (рис. 4, а). Перераспределение электронной плотности на d_{xz} -, d_{zy} -орбиталях является причиной возникновения тетрагонального искажения (рис. 4, б).

Изменение электронной плотности на e_g - и t_{2g} -состояниях индуцирует электронную поляризацию иона, которая определяется поляризуемостью атома $\alpha = \alpha_n + 2b_n$

$[M_J^2 - 1/3 J(J+1)]$, где α_n, b_n – постоянные; J – полный момент атома; M_J – проекция момента на выделенное направление. Диэлектрическая проницаемость связана с поляризуемостью $\epsilon = 1 + 4\pi N\alpha$, и изменение диэлектрической проницаемости во внешних магнитных и электрических полях определяется как $\Delta\epsilon \sim \Delta\alpha \sim \Delta M_J^2 \sim \Delta \langle L_1 L_2 \rangle$. Перестройка орбитальной структуры магнитным или электрическим полями проявится в изменении корреляционных функций (рис. 5). Первый максимум в области низких температур обусловлен изменением орбитальной корреляционной функции в кластере Mn–Co, а второй связан с ростом орбитального порядка в марганцевой системе. Это качественно объясняет наличие двух максимумов в магнитоэлектрическом эффекте. Аналогичное поведение наблюдается во внешнем электрическом поле в результате изменения электронной плотности на орбиталях вследствие зависимости потенциальной энергии электрона от расстояния во внешнем однородном электрическом поле. Существенный вклад в диэлектрическую проницаемость дает также ян–тellerовское смещение ионов, которое не учитывается в данной модели.

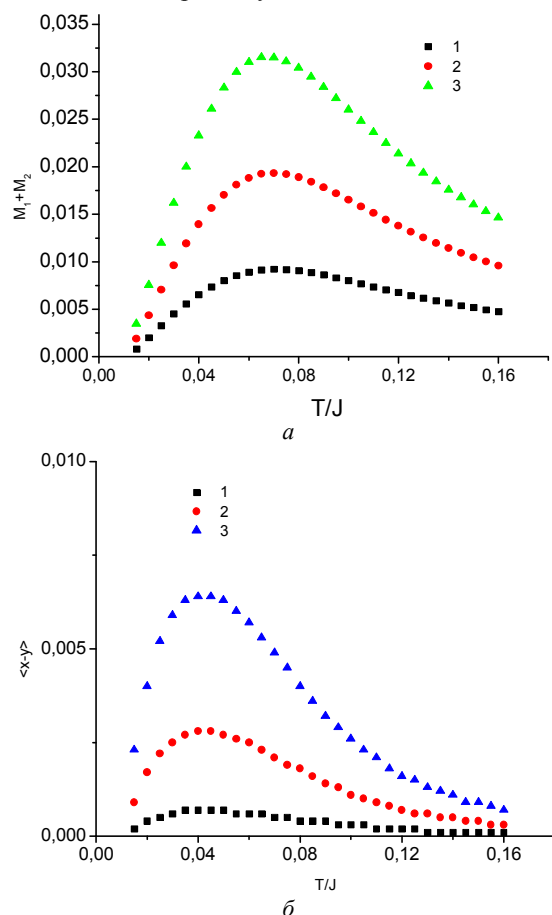


Рис. 4. Общая намагниченность спиновых моментов ($M_1 + M_2$) (а) и величина тетрагонального искажения решетки $\langle x - y \rangle$ (б) в зависимости от температуры для ряда параметров спин-орбитального взаимодействия $\lambda = 0,1$ (1), 0,2 (2), 0,3 (3) с $J_1 = 10, J_2 = 5, g = 6, k = 20, b = 3, K = -0,35, g_s = 0,1, x = 0,05$

Конкуренция кулоновского взаимодействия между электронами, расположенными на одной орбитали и между орбиталями, совместно с изменением интегралов перескока приводит к упорядочению электронов на определенных орбиталях и к орбитальному магнетизму. Электрон-фононное взаимодействие приводит к расширению решетки, а спин-фононное – к сжатию решетки. В результате конкуренции орбитального и спинового упорядочения вычислена величина тетрагонального искажения в зависимости от температуры. Оценена величина магнитоэлектрического эффекта.

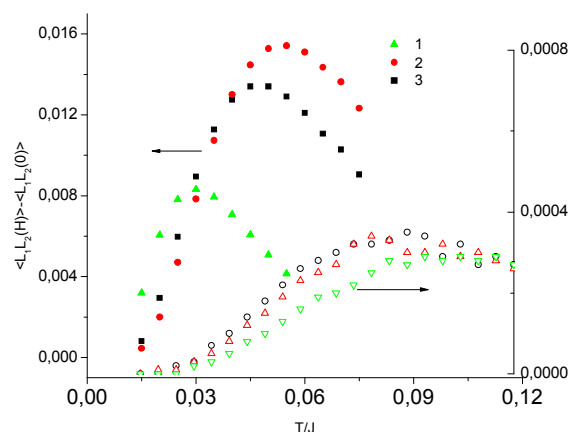


Рис. 5. Разность корреляционных функций орбитальных магнитных моментов для кластеров Mn–Co–Mn (левая шкала) и для ионов марганца (правая шкала), вычисленных в магнитном поле и без поля, от температуры для $J_1 = 10, J_2 = 5, g = 6, k = 20, b = 3, K = -0,35, g_s = 0,1, \lambda = 0,1, x = 0,02$ (1), 0,05 (2), 0,15 (3)

Библиографические ссылки

1. Epitaxial BiFeO₃ Multiferroic Thin Film Heterostructures / J. Wang, J. B. Neaton, H. Zheng et al. // Science. 2003. 209. P. 1719–1728.
2. Звездин А. К., Пятаков А. Фазовые переходы и гигантский магнитоэлектрический эффект // УФН. 2004. Т. 174. С. 465–468.
3. Смирнов А. И., Хлюстикова И. Н. Магнитоэлектрические эффекты и эффект Штарка в антиферромагнетике // УФН. 1995. Т. 165. С. 1215–1219.
4. Транспортные свойства и ферромагнетизм сульфидных соединений $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ / С. С. Аплеснин, Л. И. Рябинкина, О. Б. Романова и др. // ЖЭТФ. 2008. Т. 133. С. 875–883.
5. Магнитоэлектрический эффект в $\text{Co}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$ / С. С. Аплеснин, О. Н. Бандурина, О. Б. Романова и др. // Вестник СибГАУ. Вып. 1(22). Красноярск, 2009. С. 41–45.
6. Спин-стеклянные эффекты в твердых растворах $\text{Co}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$ / С. С. Аплеснин, Л. И. Рябинкина, О. Б. Романова и др. // Известия РАН. Серия Физическая. 2009. Т. 73. № 7. С. 1021–1023.

S. S. Aplesnin, A. I. Moskvina

MAGNETOELECTRIC EFFECT INDUCED BY ORBITAL ORDERING OF ELECTRONS

Relationship between orbital order and formation of spontaneous magnetic moment, lattice constant, correlation function of orbital and spin moments between nearest neighbors have been investigated in terms of continuous Potts model for a set of parameters of electron-lattice and spin-lattice interactions. Change in dielectric permittivity and in orbital correlation functions in external magnetic field has been found.

Keywords: dielectric permittivity, magnetoelectric effect, electron-lattice interaction, orbital and spinmoment.

© Аплеснин С. С., Москвина А. И., 2010

УДК 62-506.1

М. В. Карасева

ГЕНЕРАЦИЯ АССОЦИАТИВНОГО ПОЛЯ ЛЕКСИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

Рассматривается модификация адаптивно-обучающего алгоритма, которая позволяет применять методику обучения на основе лексически связанных компонентов, учитывает неоднородность скоростей забывания и способствует целостности восприятия базисных компонентов информационно-терминологического обеспечения.

Ключевые слова: генерация ассоциативного поля, информационно-терминологический базис, мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология.

Задача изучения иностранных языков может быть поделена на множество подзадач, а именно: изучение грамматики, изучение лексики, отработка произношения, формирование навыков говорения, аудирования, чтения и письма, и, наконец, развитие речевой и коммуникативной компетенции обучаемого. Решение всех этих подзадач с помощью компьютерных технологий в своей целостности и формирует компьютерную обучающую среду как интегрированное средство изучения языка, о которой было сказано в [1].

В данной работе рассматривается задача изучения терминологической лексики иностранных языков, а точнее, задача интенсивного накопления профессионально ориентированного вокабуляра обучаемого, что является очень важным для специалистов, работающих с иностранной литературой, и студентов, слушающих лекции на иностранных языках. Один из путей решения задачи изучения профессионально ориентированной иностранной лексики – применение мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии, ядром которой является алгоритм обучения, работающий на основе адаптивной модели обучаемого, учитывающий индивидуальные факторы процессов запоминания и забывания каждого конкретного обучаемого.

Человеческую память можно представить в виде огромного количества ячеек. Обозначим множество ячеек для слов родного языка

$$K_N = \{k_1, \dots, k_N\}, \quad (1)$$

где каждая из ячеек содержит слово.

При изучении первого иностранного языка (например, английского) вследствие пополнения словарного запаса в памяти генерируется новое множество ячеек для запомненных слов английского языка

$$K_E = \{k_1, \dots, k_E\}. \quad (2)$$

В дальнейшем у обучаемого при актуализации i -го слова на одном из языков возникают ассоциации с его значением на другом языке:

$$A_i^{NE}, \quad i = 1, \dots, E. \quad (3)$$

Ассоциация – связь между психическими элементами, возникшая в результате опыта и обуславливающая при актуализации одного элемента связи проявление и другого [2]. Степень их связи может быть различной в зависимости от скорости восприятия информации и забывания, времени забывания слова после его последнего заучивания и индивидуальных особенностей памяти обучаемого.

При изучении второго иностранного языка (например, немецкого) через определенный промежуток времени в памяти возникают все новые ячейки для запомненных немецких слов, множество которых обозначим

$$K_G = \{k_1, \dots, k_G\}. \quad (4)$$

Множество K_G частично перекрывает множество запомненных английских слов K_E , так как число элементов множества K_E в зависимости от времени после последнего заучивания уменьшается. Выражая объем памяти как функцию времени, зависимость можно проследить: даже отлично выученные иностранные слова забываются с

течением времени. Новые запомненные немецкие слова занимают бывшие «английские» ячейки, которые к тому моменту становятся пустыми. При этом необходимо отметить, что ячейки, зарезервированные для слов родного языка, остаются неизменными. Механизмом, лежащим в основе этой закономерности, выступает перевод информации из кратковременной памяти в долговременную.

У обучаемого возникают также новые ассоциации между словами родного и изучаемого им немецкого языка:

$$A_i^{NG}, \quad i = 1, \dots, E. \quad (5)$$

Степень их связи может варьироваться вследствие различных скоростей восприятия и забывания слов, времени их забывания после последнего заучивания вплоть до перекрывания ассоциаций с английскими значениями слов.

При попытке вспомнить английское либо немецкое значение слова осуществляется поиск двух разных ячеек из обоих множеств K_G и K_E . Поиск ячеек довольно сложен вследствие того, что ассоциации со словами немецкого языка, который изучался позднее, гораздо сильнее, и могут затмить ассоциации с английскими словами. Происходит своеобразный конфликт ассоциаций, и «победа» одной из них (не обязательно требуемой в данный момент) на этом уровне зависит от индивидуальных особенностей памяти человека.

Мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология [3] предполагает изучение терминологической лексики иностранного языка с учетом связи ее элементов с элементами терминологии ранее изучавшихся языков. Генерация ассоциативного поля вокруг запоминаемых терминов путем использования ассоциаций между элементами различных иностранных терминологий на практике достигается предоставлением терминов-подсказок на выбранном пользователем языке и дает возможность интенсивно пополнять словарный запас.

При этом значения термина на всех изучаемых иностранных языках хранятся в одной и той же ячейке памяти обучаемого, причем элемент терминологии изучаемого языка фиксируется в ячейке с элементом ранее изучавшегося языка. Так как этот процесс возможен в двух или более направлениях (при количестве иностранных языков $N \geq 2$), то происходит заучивание терминов всех изучаемых языков. Возникают множественные ассоциации в зависимости от числа иностранных языков. Например, при изучении немецкой лексики при поддержке терминами английской и русской лексики возникают троичные ассоциации.

Соответственно, процесс обращения к множеству ячеек происходит один раз, и ассоциации не конфликтуют.

Таким образом, можно ввести ассоциативный параметр, выражающий степень связи элементов обучающей информации на иностранных языках. Для случая изучения немецкой (G) лексики при подсказках на английском (E) и русском (N) языках ассоциативный параметр представлен следующим образом:

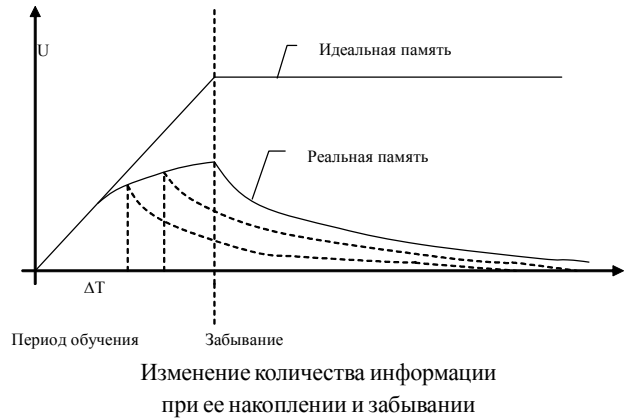
$$F_n^{NEG} = 1 - e^{-v_n n}, \quad (6)$$

где v_n – скорость восприятия информации обучаемым; n – количество сеансов обучения;

$$v_n = \frac{M_n}{\lambda T_n}, \quad (7)$$

где M_n – объем очередной порции обучающей информации; T_n – продолжительность n -го сеанса обучения; $0 < \lambda < 1$ – коэффициент потери информации во время ее поступления в память.

Изменение общего объема обучающей информации при ее накоплении (т. е. во время периода обучения) и забывании представлено на рисунке:



Очевидно, что реализация программно-алгоритмического обеспечения мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии требовала модификации ранее применявшихся алгоритмов обучения и построения адаптивной модели обучаемого, которая бы учитывала ассоциативный параметр связи элементов обучающей информации на иностранных языках в сочетании с индивидуальными параметрами обучаемого, характеризующими процессы забывания и запоминания. Так как основными компонентами программно-алгоритмической и информационной поддержки МЛ-технологии являются компьютерные системы, реализующие адаптивный алгоритм обучения терминологической лексике, и электронные частотные словари, построенные на мультилингвистическом принципе, был выделен ряд основных требований к работе алгоритма:

- учет фактора частотности слов (для максимально быстрого и эффективного обучения требуется заучивание наиболее часто употребляемых иностранных терминов);
- учет индивидуальной специфики памяти обучаемого (выдача хуже запоминающихся либо быстрее забывающихся терминов);
- произвольные промежутки между сеансами обучения, что особенно важно для применения системы в реальной обстановке;
- отличие объема очередной порции обучающей информации на каждом сеансе от общего ее объема;
- генерация ассоциативного поля вокруг запоминаемых терминов;
- учет одного из важных свойств человеческой памяти – уменьшения скорости забывания обучающей информации по мере ее повторения.

Следует учитывать, что модель обучаемого, которая используется в реализации алгоритма, является результатом исследований в области психологии. Это экспоненциальная зависимость вероятности незнания лексической единицы от скорости ее забывания, степени ее связи с иностранными значениями и времени с момента ее последнего

заучивания. В процессе обучения происходит адаптация к особенностям памяти конкретного обучаемого таким образом, чтобы обучать его с максимальной для него скоростью и генерировать порции обучающей информации, оптимальные только для него. При этом система на каждом шаге минимизирует близость ученика к заданной цели обучения, что означает: такое обучение будет оптимально на каждом шаге. Это, разумеется, не гарантирует оптимальности всего процесса обучения, но дает возможность получить решение, достаточно близкое к оптимальному.

Таким образом, одним из путей решения поставленной задачи является использование алгоритма обучения, работающего на основе адаптивной модели обучаемого, в которой учитываются индивидуальные факторы процессов запоминания и забывания каждого конкретного обучаемого. Применение мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии способствует более эффективному использованию алгоритма за счет формирования ассоциативного поля вокруг знакомых понятий, что позволяет более интенсивно пополнять профессионально ориентированный словарный запас одновременно на нескольких языках.

Применение методики обучения на основе лексически связанных компонентов предъявляет дополнительные требования к адаптивному алгоритму обучения, состоящие в генерации ассоциативного поля вокруг запоминаемых терминов внутри изучаемого языка; сохранении целостности лексически связанного компонента как базисного на всем протяжении процесса обучения; учете неоднородности скоростей забывания элементов лексически связанного компонента.

Библиографические ссылки

1. Бовтенко М. А. Компьютерная лингводидактика : учеб. пособие. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000.
2. Карасева М. В. Информационно-обучающая технология: состояние памяти модели обучаемого // Вестник СибГАУ. Вып. 3 (24). Красноярск, 2009. С. 58–62.
3. Ковалев И. В., Карасева М. В., Лесков В. О. Компоненты информационной поддержки мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии // Системы управления и информ. технологии. 2009. № 1.3 (35). С. 360–363.

М. V. Karaseva

ASSOCIATIVE FIELD GENERATION OF LEXICALLY RELATED COMPONENTS

The paper considers an adaptive-training algorithm modification. It allows using training technique on the basis of lexically related components taking into account the heterogeneity of forgetness rate and ensures perception integrity of basic components of information vocabulary support.

Keywords: associative field generation, information-vocabulary basis, multilingual adaptive training technology.

© Карасева М. В., 2010

УДК 004.891

О. В. Арипова, А. Н. Гушин

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ АГЕНТАМИ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ

Рассмотрены модели пользователей, взаимодействующих с распределенным сетевым ресурсом, с каждым из которых сопоставлен агент, и методика управления мультиагентной экспертной системой.

Ключевые слова: экспертная система, агент, взаимодействие, поведение, управление.

Управление распределенным сетевым ресурсом требует решения задач, связанных со сложностью организации взаимодействия ресурса и пользователя.

Для решения поставленной задачи [1] была разработана модель мультиагентной экспертной системы (рис. 1).

Для организации взаимодействия пользователей с распределенным сетевым ресурсом на основе разработанной модели мультиагентной экспертной системы рассмотрим следующие модели координации поведения агентов [2–6]:

1. Теоретико-игровые модели. Решают задачи выбора решений в условиях неопределенности и конфликта, позволяющие конструировать наборы правил и переговоров, следуя которым агенты приходят к равновесным соглашениям.

2. Модели коллективного поведения автоматов. Основаны на построении правил и протоколов переговоров в задачах, которые характеризуются большим количеством простых взаимодействий с неизвестными характеристиками.

3. Модели планирования коллективного поведения. Выявляют способ планирования поведения агентов (централизованное, частично централизованное, распределенное) для принятия решения о выборе своих действий в процессе координации частных планов.

4. Модели на основе BDI-архитектур. В этих модулях применяются аксиоматические методы теории игр и логической парадигмы искусственного интеллекта, задача координации поведения агентов заключается в согласовании результатов вывода в базах знаний отдельных агентов, полученных для текущего состояния внешней среды.

5. Модели на основе конкуренции. Используются понятие «аукцион» в качестве механизма координации поведения агентов, строящееся на предположении о возможности явной передачи «полезности» от одного агента к другому или к агенту-аукционеру.

Исходя из взаимодействия с распределенным сетевым ресурсом, из полного множества пользователей Π были выделены следующие подмножества: A – подмножество администраторов (рис. 2); $\mathcal{E}$ – подмножество экспертов, $ЗП$ – зарегистрированные пользователи (рис. 3); $ГП$ – гостевые пользователи (рис. 4).

Поскольку данные о возможных пользователях сформированы на основе обработки информации, поступающей от экспертов, которые также наделены правом влиять на все аспекты функционирования экспертной систе-

мы, то было принято допущение, что подмножество $\mathcal{E}$ нецелесообразно отождествлять с агентами. Построим модели поведения выделенных пользователей.

Со всеми выделенными классами пользователей были сопоставлены агенты следующих видов: каждому гостевому пользователю $ГП_i$ – реактивный агент $РАГП_i$ (рис. 5); каждому зарегистрированному пользователю $ЗП_i$ – реактивный агент $РАЗП_i$ (рис. 6); каждому пользователю-администратору A_i – интеллектуальный агент $ИАА_i$ (рис. 7).

Помимо взаимодействия с распределенным сетевым ресурсом, необходимо организовать связи между существующими агентами, главными характеристиками которых являются направленность, избирательность, интенсивность и динамичность. При этом следует учитывать конечность времени существования каждого агента и влияние поведения агентов в рамках использования материалов, расположенных на распределенном сетевом ресурсе.

Рассмотрим требования к агентам [2; 3], сопоставленные с каждым подмножеством пользователей (см. таблицу).

В связи с тем что реактивные агенты не имеют развитого знания об окружающей среде и полностью зависят от цели, по которой формируют реакции на создаваемые ситуации, автономны и имеют конечный «жизненный» цикл, можно рассматривать построение их функционирования на основе продукционных систем с обязатель-

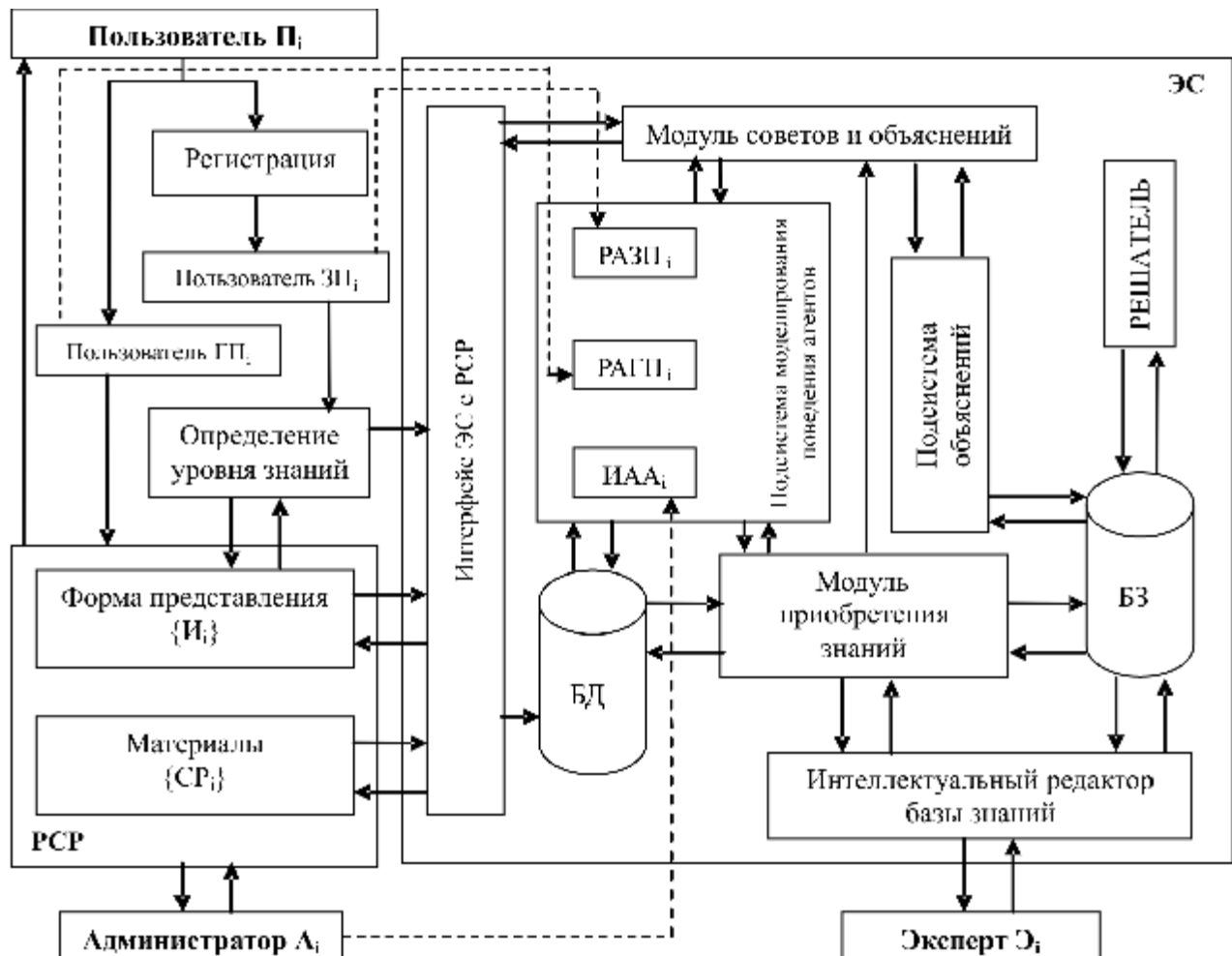


Рис. 1. Модель мультиагентной экспертной системы



Рис. 2. Модель поведения гостевого пользователя

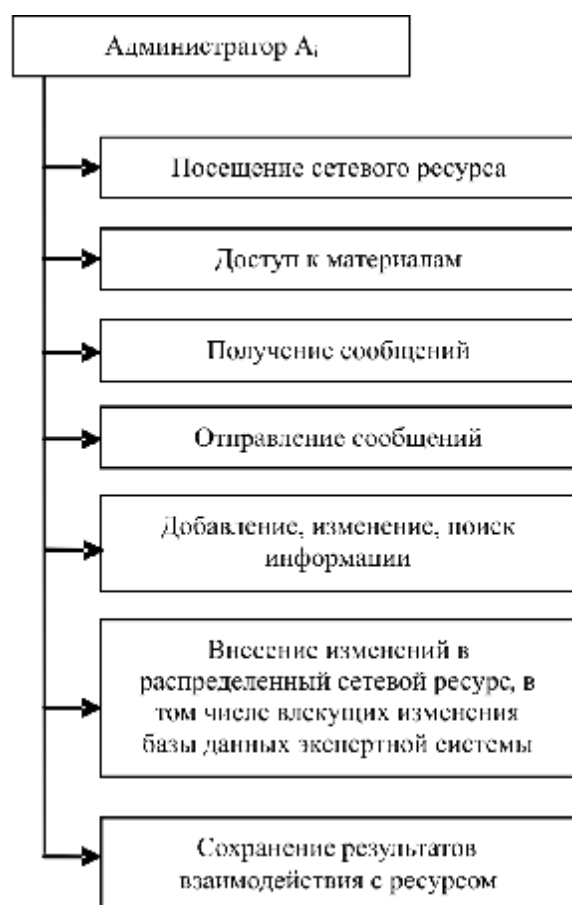


Рис. 4. Модель поведения администратора

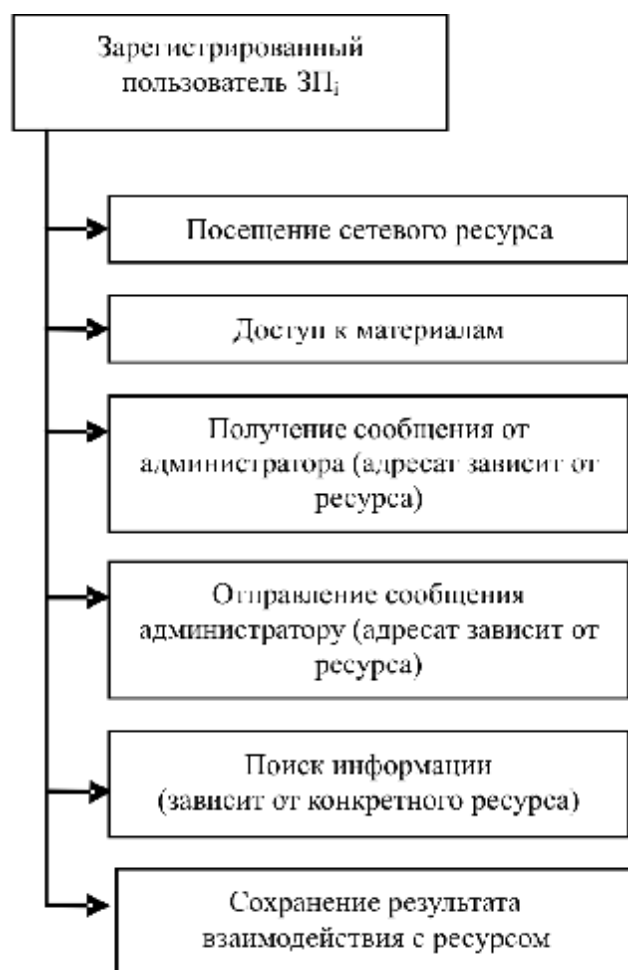


Рис. 3. Модель поведения зарегистрированного пользователя



Рис. 5. Модель «жизненного цикла» агента гостевого пользователя

Требования к агентам пользователей

Характеристики	Типы агентов		
	РАГП _i	РАЗП _i	ИАА _i
Автономное выполнение	+	+	+
Взаимодействие с другими агентами	+	+	+
Реактивность	+	+	+
Адаптивное поведение	–	+	+
Обучение на основе взаимодействия с окружением	–	+	+
Терпимость к ошибкам и (или) неверным входным сигналам	–	–	+
Функционирование в режиме реального времени	–	–	+
Конечность жизненного цикла	+	+	+
Сохранение поведения в БД экспертной системы	–	+	+

ным ядром. Тогда каждый агент обладает множеством правил $R = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_n\}$, имеющих следующую структуру:

$$r_i : p_i; a_i \rightarrow b_i,$$

где $a \rightarrow b$ – ядро, являющееся основным элементом продукции, интерпретируемое «если a , то b », под a понимается условие существования заключения b ; i – имя,

с помощью которого данная продукция выделяется из множества продукций; p_i – условие применимости ядра продукции (предикат): если p – истинно, ядро активизируется.

Пусть для реактивного агента

$$a_i = \bigvee_j \left(\bigwedge_k a_{ijk} \right),$$

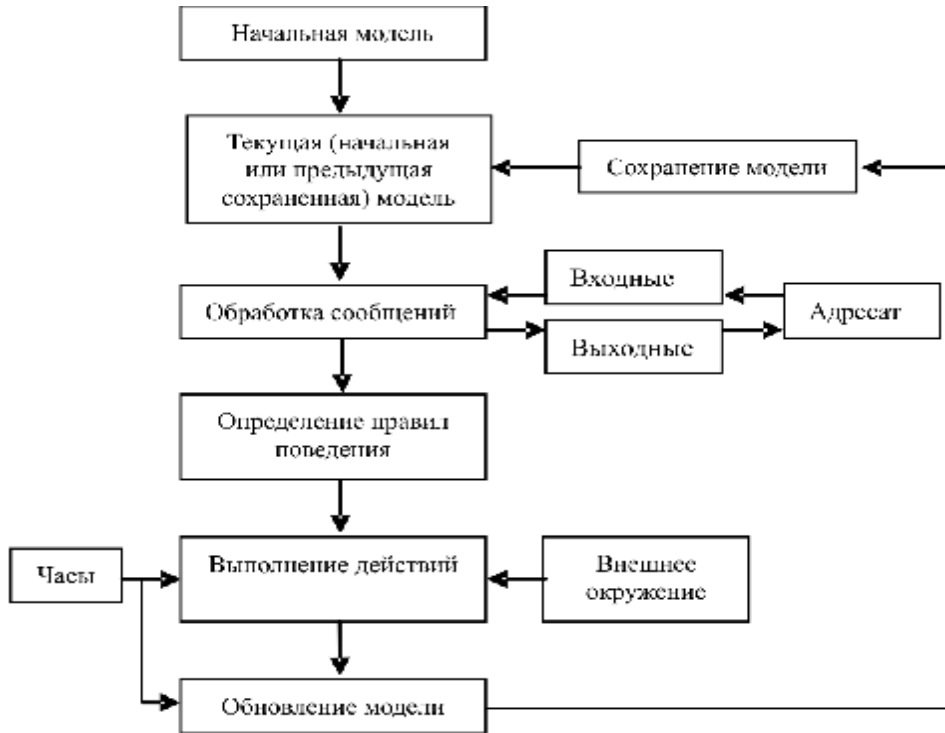


Рис. 6. Модель «жизненного цикла» агента зарегистрированного пользователя

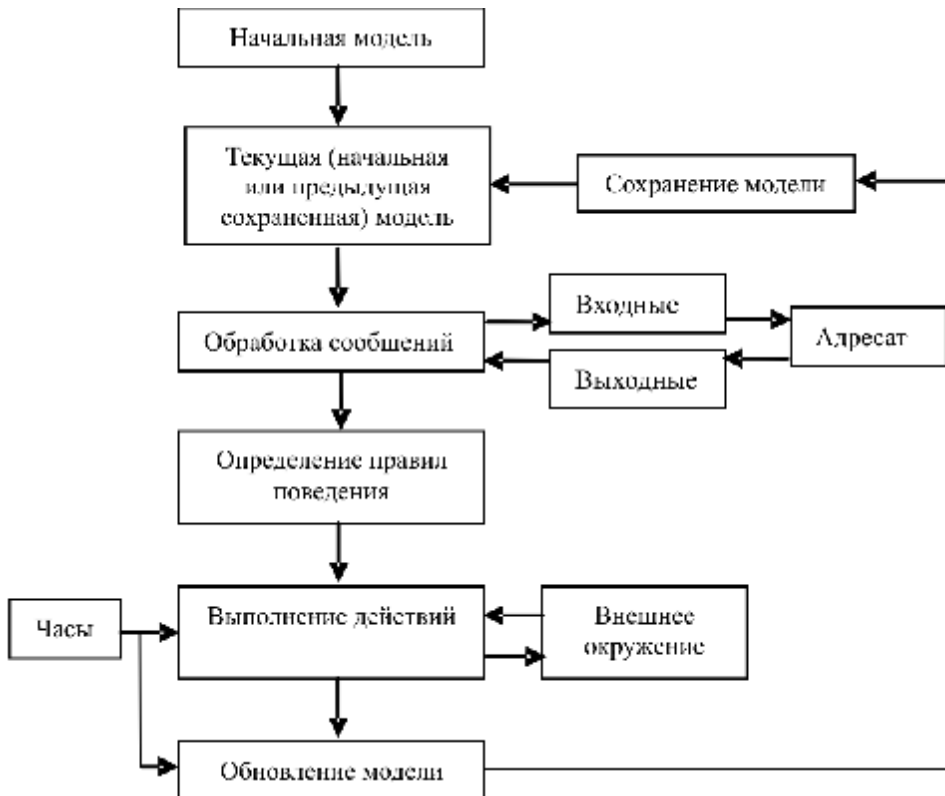


Рис. 7. Модель «жизненного цикла» агента администратора

где a_{ijk} – четкий предикат над состоянием S агента; $a_{ijk} = a_{ijk}(S)$, $S = \{s_i, \dots, s_j\}$, s_i, s_j – параметры состояния.

Пример:

КОГДА пользователь = зарегистрированному пользователю

И выполнен вход на распределенный сетевой ресурс

ЕСЛИ существуют непрочитанные сообщения

ТО пользователю предложено ознакомиться с сообщениями.

Тогда для интеллектуального агента требуется изменение структуры правил, а именно замена ядра на необязательное, с оценкой реализации на основе нечеткой логики и введением в структуру постусловий:

$$r_i : p_i; a_i \rightarrow b_i; n_i,$$

где n_i – постусловие i -й продукции.

Пусть для интеллектуального агента

$$a_i(S) = \bigvee_j \left(\bigwedge_k a_{ijk}(S) \right) \Rightarrow f_{a_i}(S) = \max_j \left(\min_k f_{a_{ijk}}(S) \right),$$

где $f(S)$ – функция принадлежности, зависящая от истинности предиката, такая, что $f_{a_i}(S) = 0 \rightarrow b_i$ – ложно, $f_{a_i}(S) = 1 \rightarrow b_i$ – истинно. Для определенности изменения состояния агента введем $f_{\text{порог}_i}$ такое, что $f_{a_i}(S) > f_{\text{порог}_i} \rightarrow b_i$ – истинно и выполняется постусловие n_i .

Пример:

ЕСЛИ существуют непрочитанные сообщения

И они не являются срочными

И НЕ(администратор занят)

ТО с $f_{\text{порог}} = 0,75$: предложить показать сообщения администратору;

ПОСТУСЛОВИЕ = показать сообщения администратору.

ЕСЛИ существуют непрочитанные сообщения

И они являются срочными

И НЕ(администратор занят)

ТО с $f_{\text{порог}} = 0,1$ показать сообщение администратору;

ПОСТУСЛОВИЕ = показать сообщения администратору.

Такие требования позволяют проводить координацию поведения агентов с помощью модели на основе BDI-архитектур, так как акцент делается на описание таких понятий, как убеждения (belief), желания (desire) и намерения (intention). Логический вывод в базы знаний осуществляется непосредственно в процессе функционирования агентов.

Мультиагентная экспертная система, построенная на гибридной архитектуре, с использованием агентов двух видов – интеллектуальных для подмножества администраторов и реактивных для подмножеств зарегистрированных и гостевых пользователей, должна реализовывать рефлексивное управление распределенным сетевым ресурсом, сущность которого заключается в том, чтобы заставить пользователя осознанно подчиняться влиянию извне, т. е. сформировать у него такие желания и намерения, которые совпадают с требованиями окружения.

Под рефлексивным управлением будем понимать актуализацию социально значимой востребованности; построение множества уникальных управленческих по-

нятий и отношений; осуществление деятельности множества, в том числе за счет привлечения к интерпретации понятий профессиональных специалистов (экспертов).

Сама экспертная система построена на основе продукционной модели с нечеткой логикой [7], где подсистема моделирования поведения агентов используется в качестве потенциального аргумента предикатов в антецеденте правил, т. е. наблюдаемое поведение агентов может быть использовано в правилах самой экспертной системы, но повлиять на поведение агентов возможно только изменениями внешней среды.

Пусть S_a – состояние агента, S_v – наблюдаемое состояние агентов, S_e – состояние экспертной системы, S_r – состояние распределенного сетевого ресурса; $R_e = \{r_{e_1}, \dots, r_{e_i}, \dots, r_{e_n}\}$ – множество правил, которыми обладает экспертная система вида $r_{e_i} : p_{e_i}; a_{e_i} \rightarrow b_{e_i}; n_{e_i}$ где $a_{e_i}(S_e)$ – условие существования заключения b_{e_i} , причем S_e включает в себя S_v ($S_v = \{S_{v_1}, S_{v_2}, \dots, S_{v_i}, \dots, S_{v_n}\}$), $S_v \subset S_a$ ($S_v \subset S_e$), b_i – приводит к изменениям S_e , что в свою очередь может привести к изменению S_r . Поскольку S_r может приводить к изменениям поведения пользователя, что изменяет внешнюю среду, влияющую на поведение агентов, что в свою очередь наблюдается экспертной системой, то поведение пользователя в момент времени t_1 (начало работы экспертной системы) приводит к изменениям распределенного сетевого ресурса в момент времени t_2 и последующим возможным поведением пользователя в момент времени t_3 и так далее:

$$S_r^{t_n} = \left(S_r^{t_{n-1}}, S_e^{t_{n-1}} \text{Пд}^{t_{n-1}} \left(S_r^{t_{n-2}} \left(S_e^{t_{n-3}}, S_e^{t_{n-3}}, 1 \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \text{Пд}^{t_{n-3}} \left(S_r^{t_{n-4}} \left(\dots \left(S_r^{t_2}, S_e^{t_2} \text{Пд}^{t_2} \left(S_r^{t_1} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \right),$$

где Пд – поведение.

Таким образом, разработана модель взаимодействия распределенного сетевого ресурса и пользователей, отличительной особенностью которой является использование мультиагентной экспертной системы. Методика управления агентами позволяет рационализировать данное взаимодействие путем рефлексивного управления поведением пользователей через динамические модификации представления и содержания распределенного сетевого ресурса.

Данная методика применима к задачам организации взаимодействия распределенного сетевого ресурса и пользователя на основе образовательного ресурса www.i5nfo.ru и на основе приборов измерения и контроля уровня радиации, что подтверждено актами внедрений.

Библиографические ссылки

1. Арипова О. В. Модели взаимодействия пользователя с распределенным сетевым ресурсом. СПб. : Трансфер, 2009.
2. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Интеллектуальные информационные системы : учебник. М. : Финансы и статистика, 2006.
3. Гаврилова Т. А., Хорошевский, В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2001.

4. Гуцин А. Н. Основные концепции построения личностно-ориентированных информационных систем // Военмех. Вестн. Балт. гос. техн. ун-та. СПб, 2008. С. 34–44.
5. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта : пер. с франц. М. : Мир, 1991.

6. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. М. : Вильямс, 2006.
7. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2005.

O. V. Aripova, A. N. Guschin

METHODS OF AGENT CONTROL IN MULTI-AGENT EXPERT SYSTEM

In the article we discuss on the user's models interacting with the distributed network resource, where every user has a correlated agent, as well as on the methods of multi-agent expert system control.

Keywords: expert system, the agent, interaction, behavior, control.

© Арипова О. В., Гуцин А. Н., 2010

УДК: 51-74

Н. С. Юрков

МНОГОФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ

Рассматривается задача прогнозирования свойств алюминиевых сплавов от технологических параметров их приготовления. Предлагается математический аппарат на основе метода опорных векторов, способ подготовки исходных данных. Приводятся результаты тестирования моделей прогнозирования.

Ключевые слова: метод опорных векторов, сплавы алюминия.

Одним из наиболее интересных направлений исследований в настоящее время является создание материалов с заданными свойствами. Решение подобных задач позволяет до определенного уровня освободить конструктора от привязки к имеющимся в наличии материалам и открывает дополнительный способ улучшения характеристик создаваемой техники.

Выполненная нами исследовательская работа [1] показала перспективность создания численных моделей зависимости потребительских свойств материалов от технологии их изготовления, на примере механических свойств (твёрдости, удлинения при разрыве) алюминиевых деформируемых сплавов в зависимости от их химического состава.

В качестве следующего шага была рассмотрена сходная задача: в качестве объекта исследования были приняты деформируемые алюминиевые сплавы только систем Al–Mn и Al–Mg, а база данных была пополнена за счёт введения параметров, определяющих режим механического упрочнения для данных сплавов.

Объект исследования. Упрочнение алюминиевых сплавов создается не только путем добавки различных легирующих элементов, но и механическим воздействием методом холодной деформации заготовок (наклепом, вытяжкой), а также термической обработкой (закалкой, старением). По этому признаку деформируемые сплавы подразделяют на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой [2].

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой, характеризуются сравнительно невысокой прочностью (немного превышающей прочность алюминия), высокой пластичностью и коррозионной стойкостью. Их применяют в тех случаях, когда требуется высокая пластичность – для изделий, получаемых глубокой штамповкой.

К рассматриваемой группе сплавов относят сплавы системы Al–Mn (сплавы АМц по отечественной классификации, 3XXX серии по международной) и Al–Mg (АМг по отечественной классификации, 5XXX серии по международной).

Эти сплавы в виде листов, а также прокатанного или прессованного материала поставляются в отожжённом (мягком) состоянии, после небольшой степени наклёпа (полунагартованные) и после сильного наклёпа (нагартованные) [2].

Постановка задачи. Хорошо известно, что пластическая деформация металлических заготовок увеличивает предел прочности металла, а относительное удлинение при этом падает (рис. 1) [2].

Международный стандарт EN 515–1993 [3] обобщает несколько используемых технологических режимов получения требуемых значений механических свойств для термически неупрочняемых деформируемых алюминиевых сплавов (табл. 1)

Эта маркировка дополняется также обозначением степени механического упрочнения (табл. 2).

К примеру, маркировка продукции «5052-Н36» означает, что она изготовлена из сплава 5052 (Al основа, Cr 0,15...0,35 %; Mg 2,2...2,8 %), прошедшего механическое упрочнение со стабилизацией, степень упрочнения 3/4.

Предлагаемая математическая модель решения поставленной задачи. Исходная база данных была составлена на основе материалов MatWeb [5], и включала 94 записи (точки данных), содержащих информацию по химическому составу (содержание элементов Cr, Cu, Mg, Mn), режиму упрочнения, и механическим свойствам (твёрдости по Бринеллю и удлинению при разрыве) основных промышленных деформируемых алюминиевых сплавов 3XXX и 5XXX серий.

На графиках распределения результирующих переменных видно, что имел место достаточно большой разброс значений, что осложняет построение модели (рис. 3).

Основываясь на успешных результатах разработки математической модели в работе [1] и учитывая близкий характер новой задачи, была рассмотрена возможность применения тех же методик подготовки и анализа данных.

В основу численного решения поставленной задачи также был положен метод опорных векторов. В данном случае важно было воспользоваться такими его преимуществами, как устойчивость решений (нет риска попада-

ния в локальный оптимум) и отсутствие проблемы «излишнего обучения», т. е. идеальной подгонки полученной модели к обучающей выборке в ущерб общей эффективности модели [6].

Несмотря на то что размер набора данных вырос примерно в 2,5 раза (с 37 до 94 точек данных), что должно было увеличить время расчета ориентировочно в 6...7 раз, в нашем случае, однако, это осталось некритичным (сложности со слишком длительным временем расчёта могут возникнуть при размерах набора данных более 500 записей).

Что касается интерпретации результата, то в постановке задачи не была обусловлена необходимость получения формульной зависимости результирующей переменной от факторов, т. е. форма решения вида
$$f(x) = \sum_{i=1}^{N_{\text{св}}} (\alpha_i - \alpha_i^*) k(x_i, x) + b$$
 оказывалась вполне удовлетворительной [6].

Математический аппарат метода опорных векторов, в том числе его интерпретация для решения задач множественной нелинейной регрессии, описан в книге [7] и в статье [1], поэтому его подробности здесь не приводятся.

В общих чертах его идея сводится к минимизации структурного (ожидаемого) риска, а не только эмпири-

Таблица 1

Технологические режимы упрочнения деформируемых алюминиевых сплавов 3XXX и 5XXX серий (по EN 515-1993)

Маркировка	Наименование	Характеристика
O	Отжиг (с рекристаллизацией)	Обеспечивает наименьшую прочность при наибольшей пластичности
H1	Механическое упрочнение	Обеспечивает повышение прочностных свойств при понижении пластичности
H2	Механическое упрочнение с частичным отжигом	При таком режиме заготовки подвергаются большей степени деформации, чем нужно для достижения требуемых характеристик. Затем выполняется частичный отжиг, который до определённой степени компенсирует результаты механического упрочнения (рис. 2) [4]
H3	Механическое упрочнение с последующей стабилизацией	Ряд сплавов в деформированном состоянии подвергаются старению при комнатной температуре, что приводит к уменьшению прочности. Поэтому они, как правило, подвергаются искусственному старению при невысоких температурах, благодаря чему растёт пластичность, а прочие механические свойства стабилизируются

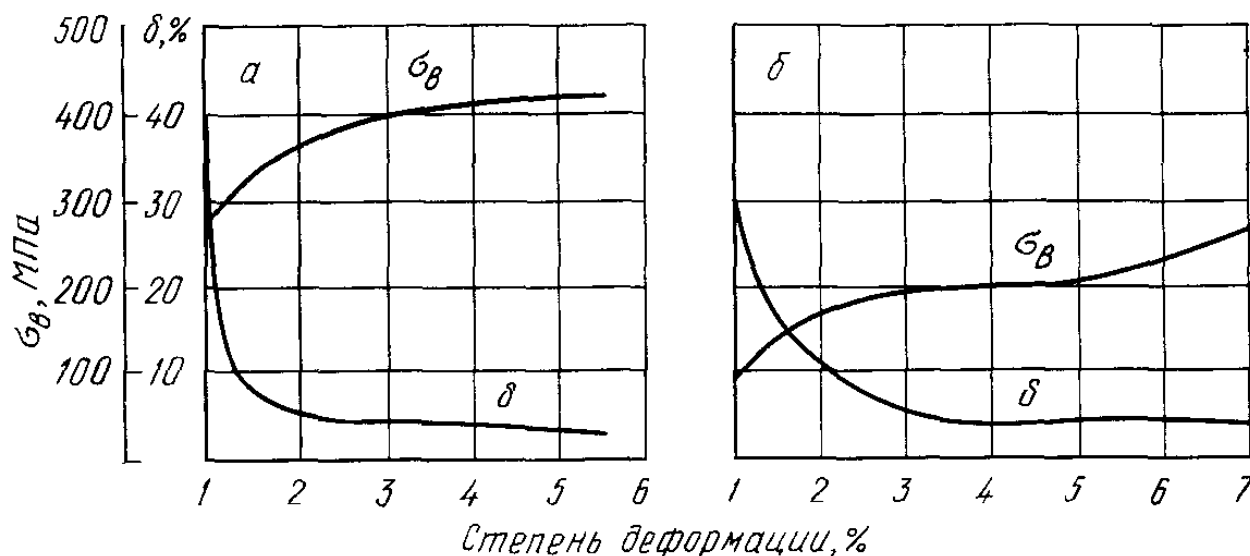


Рис. 1. Зависимость предела прочности и относительного удлинения от степени деформации

ческого, т. е. к построению такой регрессионной кривой (плоскости), чтобы она наилучшим образом моделировала не только обучающую выборку (что типично для большинства решающих данную задачу методов анализа данных), но и предполагаемую общую выборку – все точки данных, включая ещё не зарегистрированные.

В соответствии с ключевой идеей МОВ [8], следует одновременно минимизировать эмпирический риск $R_{\text{emp}}^{\epsilon}$ и сумму весовых коэффициентов векторов $\|W\|^2$, которая характеризует размерность модели. Следовательно, для построения линейной регрессионной гиперплоскости $f(X, W) = W^T X + b$ необходимо минимизировать

$$R = \frac{1}{2} \|W\|^2 + C \sum_{i=1}^l |y_i - f(X_i, W)|_{\epsilon}.$$

Параметр C задаёт соотношение между двумя слагаемыми минимизируемой функции (т. е. отношение ошибки обучения к размерности модели).

В источниках [7], [1] подробно описан вывод математического выражения наилучшей регрессионной гиперплоскости для случая нелинейной регрессии:

$$f(X, W) = W_0^T X + b = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) k(X_i X) + b,$$

где W_0 , b , α_i , α_i^* – оптимальные параметры модели; $k(X_i X)$ – ядровая функция; X – массив входных переменных.

Для проверки достоверности модели был выбран метод «leave-one-out» («один против всех»), являющийся крайним случаем метода n -кратной перекрёстной проверки, где n равняется количеству точек данных в наборе данных, и при каждом повторении поочерёдно отбирается одна точка данных, заносимая в тестовую выборку, остальные – в обучающую.

Для задачи регрессии среднее значение ошибки по n тестам модели будет приниматься как критерий точности модели [9]. Таким образом, средняя ошибка модели определялась по формуле

$$e(X, Y, f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f(X^*, Y^*, P, X_i) - Y_i|,$$

$$X_i \notin X^*, Y_i \notin Y^*,$$

где X , Y – входной и выходной массивы набора данных; f – проверяемая модель; X^* , Y^* – обучающая выборка на

Таблица 2

Маркировка степени механического упрочнения (по EN 515–1993)

Маркировка	Характеристика
Hx1	1/8 полного
Hx2	1/4 полного
Hx3	3/8 полного
Hx4	1/2 полного
Hx5	5/8 полного
Hx6	3/4 полного
Hx7	7/8 полного
Hx8	Полное (для алюминия соответствует примерно 75-процентному уменьшению площади поперечного сечения)
Hx9	Усиленное (применимо для ограниченного ряда сплавов и видов продукции)

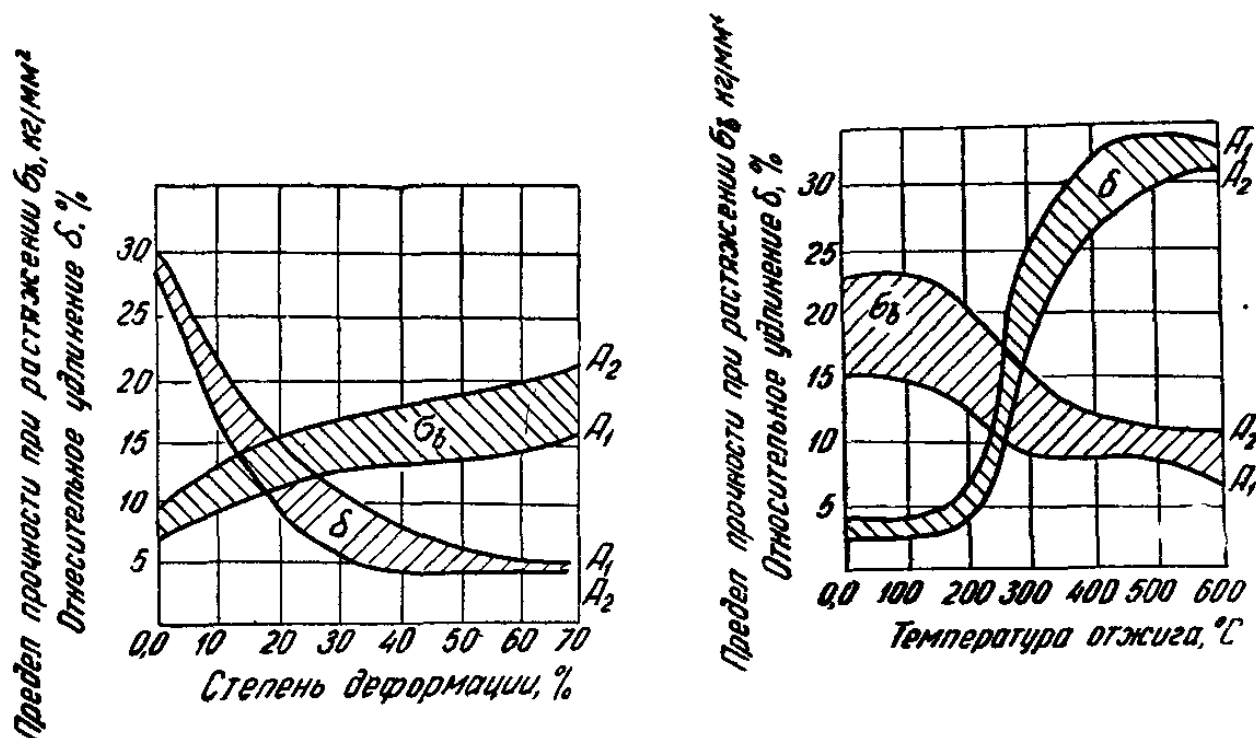


Рис. 2. Предел прочности и относительное удлинение при деформации и отжиге

i -м шаге проверки модели (не включающая i -ю точку данных); P – параметры модели.

Такой метод проверки обеспечивает максимально интенсивную эксплуатацию набора данных, что повышает вероятность получения возможно более достоверной модели. Эта детерминированная процедура (в ней не применяется случайное разбиение набора данных на выборки) позволяет лучше оценить влияние параметров модели при их подборе на её качество (для небольших наборов данных).

Источник и подготовка исходных данных. В качестве наиболее полного источника однородных данных, чтобы обеспечить возможно большую выборку, имеющую минимум пропусков в данных (так как выбранная математическая модель к ним чувствительна), была выбрана база данных материалов MatWeb [5], содержащая информацию по типовому химическому составу и механическим свойствам интересующих нас групп промышленных деформируемых алюминиевых сплавов, с учётом механического упрочнения.

При подготовке рабочего набора данных на основе исходной базы данных были использованы те же приёмы, что и в работе [1]: приняты усреднённые значения (среднее между верхней и нижней границей по спецификации) содержания легирующих элементов в %; в качестве результирующих переменных приняты «твёрдость по Бриннелю» (безразмерная величина) и удлинение при разрыве (%).

С учётом изменившейся задачи исследования, в подготовку данных были внесены изменения. Количество учитываемых легирующих элементов сокращено с 6 до 4 (Cr, Cu, Mg, Mn), поскольку в исследуемых группах сплавов (3xxx и 5xxx серии) в качестве легирующих практически исключительно применяются только эти элементы.

Введены дополнительные переменные модели, указывающие на режим механического упрочнения – всего три логических (значения 0 или 1) переменных. Первая определяет наличие/отсутствие механического упрочнения, вторая принимает значение 1 только для случаев механического упрочнения с частичным отжигом, тре-

тья принимает значение 1 только для случаев механического упрочнения с последующей стабилизацией.

Данная схема позволила перевести качественный фактор «режим механического упрочнения», имеющий в наших исходных данных четыре возможных значения, в двоичные количественные, при этом не абстрагируясь от его технологического происхождения (табл. 3).

Всего в набор данных вошли 94 записи (точки данных).

Практические результаты исследования. Параметры модели подбирались в соответствии с методикой, рекомендованной в общем виде в [7], и использованной при выполнении расчётов в [1].

В качестве ядерной функции была принята Гауссова функция (радиальная базисная функция) вида

$K(X, X_i) = e^{-\frac{|X - X_i|^2}{2\sigma^2}}$ (14), которая удобна для построения моделей регрессионных зависимостей.

Поскольку увеличение управляющей константы C сопровождается экспоненциальным ростом размерности модели (и соответственно потребляемой вычислительной мощности), в то время как средняя ошибка при этом уменьшается, стабилизируясь на определённом уровне, то было принято значение $C = 1\,000$, позволявшее выполнять расчёт за разумное время (25...30 с на 1 расчёт) и обеспечивавшее приемлемые показатели средней ошибки.

Для модели прогнозирования параметра «удлинение при разрыве» эксперименты показали полное отсутствие изменения достоверности модели при $C \leq 100$.

Параметр ε был подобран в пределах 5...15 % от среднего значения прогнозируемой переменной (свой для каждой модели), параметр формы ядерной функции (в нашем случае σ) – выбран перебором.

Тестирование построенных моделей прогнозирования механических свойств алюминиевых сплавов (с учётом термообработки) подтвердило правильность предположения о возможности расширения описанных в [1] моделей с введением дополнительных технологических факторов, более плотно приближающих такие модели к практическому применению.

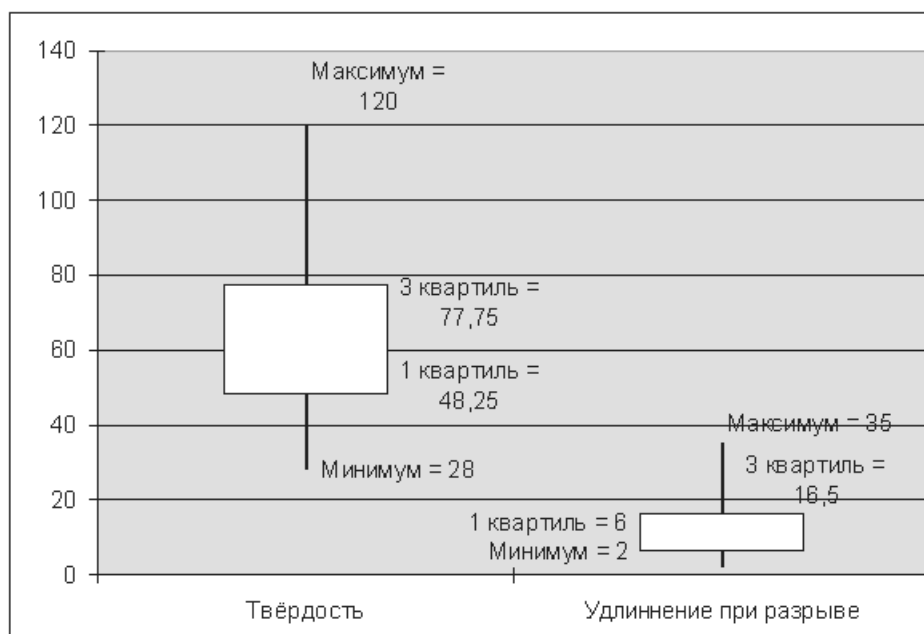


Рис. 3. Квартильные графики распределения значений результирующих переменных в рассматриваемом наборе данных

Приведем результаты тестирования полученной оптимальной модели, в том числе с разбивкой по подмножествам набора данных (рис. 4, 5).

В результате выполнения данного исследования была подтверждена эффективность численных моделей зависимости свойств материалов от технологических параметров их производства. По сравнению с предыдущими работами по данной теме, модель была существенно расширена, и учитывает сразу две группы технологических параметров при изготовлении литых заготовок: химический состав расплава и режим упрочнения заготовки.

Приведены практические результаты прогнозирования свойств промышленных алюминиевых деформируемых сплавов 3xxx и 5xxx серий.

Результаты проведенной работы показывают возможность создания «обратной» модели, т. е. решения задачи подбора технологических параметров для создания материалов с заданными свойствами, являющейся наиболее интересной с точки зрения практики.

Библиографические ссылки

1. Юрков Н. С. Решение задачи множественной нелинейной регрессии с применением метода опорных век-

торов (на примере механических свойств сплавов алюминия). Системы управления и информ. технологии. 2009. № 1.2 (35). С. 307–312.

2. Гуляев А. П. Металловедение : учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М. : Металлургия, 1986. 544 с.

3. DIN EN 515–1993. Aluminium and aluminium alloys; wrought products; temper designations. DIN-Mitteilungen von 1996; Nr. 12, S. A971 (Tabelle 4, S. 11 2. Spalte geändert).

4. Смирнягин А. П. Промышленные цветные металлы и сплавы. М. : Металлургиздат, 1956. 559 с.

5. MatWeb – Online material property database [Electronic Resource] // MatWeb. URL: www.matweb.com. (date of visit 15.01.2010).

6. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 336 с.

7. Kecman W. Support Vector Machine Basics. School of engineering report 616. – Auckland: The University of Auckland, 2004. 54 с.

8. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. М. : Наука, 1979. 499 с.

9. Witten I. H., Frank E. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques.– 2nd ed. San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 2005. 525 p.

Таблица 3

Способ регистрации режимов механического упрочнения в записях набора данных

Технологический режим	Переменные		
	Первая	Вторая	Третья
Отжиг	0	0	0
Механическое упрочнение	1	0	0
Механическое упрочнение с частичным отжигом	1	1	0
Механическое упрочнение со стабилизацией	1	0	1

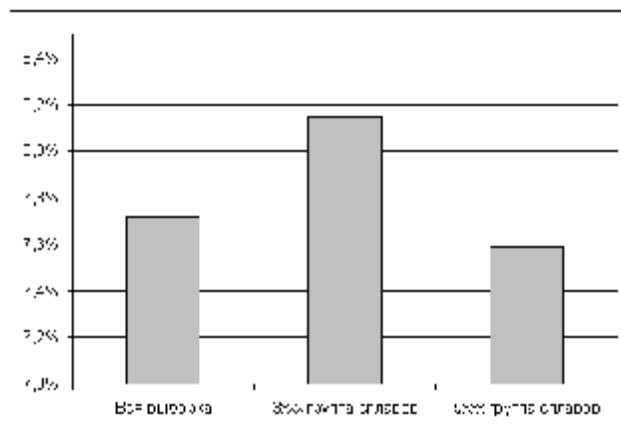


Рис. 4. Средняя ошибка прогнозирования с разбивкой по группам сплавов

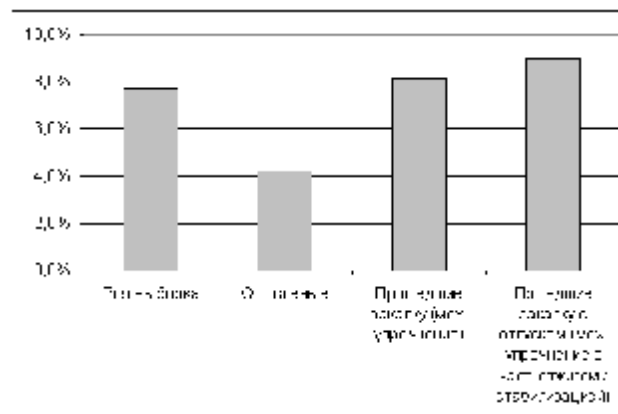


Рис. 5. Средняя ошибка прогнозирования с разбивкой по режимам упрочнения

N. S. Yurkov

MULTIPARAMETRIC MODEL ON BASIS OF SUPPORT VECTOR MACHINES FOR FORECASTING PRODUCT CHARACTERISTICS

The paper discusses forecasting of aluminium alloy properties depending on their production parameters. Mathematical apparatus on basis of support vector machines and data preparation technique are proposed. Forecasting model testing results is demonstrated.

Keywords: support vector machines, aluminium alloys.

INFORMATION SEARCH MODULE BASED ON MULTILINGUISTIC THESAURUSES

The paper is devoted to the module for search, ranking and determination of document relevance by means of meta-search multilinguistic algorithms of data processing.

Keywords: ranking, relevance level, meta-search.

At present time a lot of models and algorithms for information representation in the distributed information systems are developed. As special case of similar systems are informing-controlling systems, corporate information systems and intensively developing systems for decision-making support. However the majority of distributed systems are developed on the basis of monolingual representation of information or consider multilinguistic aspect implicitly [1].

Now the activities on development of new algorithms for search, ranking and relevance determination of the information both in global Internet network and in local informing-controlling systems are highly advanced. One of the promising trends in development of new models and algorithms of data processing is application of subject dictionaries, or thesauruses. A thesaurus presents as much as possible full volume of the lexicon arranged by a thematic (semantic) principle with representation of a certain set of basic semantic relations, which is full systematized data set on the specific field of knowledge which allows a person or a computer to be guided in it. It is necessary to mention that in modern systems such dictionaries-thesauruses are rarely presented in multilinguistic frequency realization. The authors of this paper apply thesauruses developed on the basis of multilinguistic technology for searching procedure in information systems.

The given approach is focused firstly on the problem of multilingual information representation in informing-controlling systems. In up-to-date conditions even small corporate information systems operate in a multilinguistic mode. Often administrative personnel at their decision-making needs prompt providing with documents of various language sets. The requirements to efficiency and quality of multilinguistic information search systems used by a decision-making person have considerably increased.

Within the proposed module the basic work on search, ranking and determination of relevance level is made by use of meta-search multilinguistic algorithms for data processing and control [2]. Firstly it is necessary to determine the searching process parameters. They are: functions of a knowledge domain choice and options of language sets, within which it is necessary to search.

Besides, it is necessary to show separately possibility of work with information search line both in Internet and in a corporate network. According to the offered approach, operation with a search line can be realized in two modes:

- a mode of manual input of a search line;
- a mode of automated arrangement of a search line.

At input of a search line in a manual mode the system checks presence of the entered terms in the frequency multilinguistic thesaurus. In case of a term failing in the dictionary the user is offered to enter a search line with change of terms in it.

Let's consider in more detail the process of inquiry generation on the given subject domain at input of a search line in an automatic mode [3]. The information search module is based on application of frequency multilinguistic thesauruses which raise the quality of documents relevance definition at inquiries. These thesauruses allow to allocate a document directivity, up to a subject domain which the document belongs to. The quality of relevance level definition in the offered method corresponds to relevance level in catalogue systems of manual indexation [1]. Based on the frequency characteristics of terms it is possible using the given algorithm to generate the search line adjustable by the user.

It is necessary to mention that in modern corporate information systems it can be stored multilinguistic information. However the user of the search module cannot know all the languages presented in the network. Therefore it is necessary to consider propriety of indication of the language sets necessary for the user.

After finishing the generation of a search line and indication of languages of information search, it is necessary to start directly the procedure of search [3]. As a result the consistent inquiry of all information corporate resources is realized and the file of references to documents interesting the user is formed, and also splitting of all set of references by a principle of language set membership is performed.

Besides, the user can see the following additional information which is considered at ranking of documents and definition of relevance level of each found document:

- document heading;
- document volume;
- quantity of the terms found in the document.

It is the first step of search procedure processing.

On the second step there is a definition of relevance level and ranging of a multilinguistic file of references. Here the user is provided with the additional information about:

- level of relevance of the found document;
- overall weight of relevant terms in the document.

The third step is a direct viewing of the found documents. On the given step it is possible not only to see the document, but also to receive the expanded information about it, presented, for example, in the form of the table, made at finishing of processing of the English-language document:

Term	Frequency	Term Weight in the Document	Term Weight in the Thesaurus
Activity	8	0.002	0.00000817
Process	3	0.000 9	0.0000108
Search	1	0.000 01	0.00000176

These characteristics are important at calculation of relevance level and ranking of the found documents [2]. Let's consider the structure of the given table:

- “Term” means the list of terms which have met in the thesaurus and the document;
- “Frequency” shows, how many time the given term has met in the document;
- “Term Weight in the Document” calculates concerning frequency of a term and total of terms in the document;
- “Term Weight in the Thesaurus” calculates as the relation of the frequency characteristic of a term in the dictionary to the general total frequency characteristic of all terms of the dictionary. The proposed module of information search and processing in corporate systems of decision-making support completely meets the requirements to systems of such level and allows to solve a problem of arranging, storage and processing of information in the modern distributed multilingualistic corporate systems of decision-making support.

Realization of metasearch principles promotes coverage of indexes of the most popular search web services. At the same time the number of irrelevant references resulted at searching is reduced, the quality of inquiries processing of

the user essentially raises and the traffic volume decreases while forming a personal base of relevant documents.

Besides, the presented multilingualistic models allow to make more flexible multilingualistic answers even on monolingual inquiries in comparison with simple distributed-informational system, taking into account uncertainty of the description both multilingualistic documents and inquiries.

References

1. Multilingualistic Model of Distributed System Based on Thesaurus / P. V. Zelenkov, I. V. Kovalev, M. V. Karasva, S. V. Rogov // Bulletin of Siberian State Aerospace Univ. №. 1(18). Krasnoyarsk, 2008. P. 26–27.
2. Meta-search Multilingualistic System for Highly Specialized Information : software registration certificate of All-Russia Center of Scientific Information № 50200701673 / I. N. Kartsan, P. V. Zelenkov, D. A. Ragzin et al. M., 2007.
3. Zelenkov P. V., Kovaleva T. A. A problem of Meta-search Technologies Development // Bulletin of Scientific Institute of Wave Processes Control Systems. Vol. 8. Krasnoyarsk, 2004. P. 95–103.

М. В. Карасева, Е. П. Бачурина, П. В. Зеленков, В. В. Брезницкая

МОДУЛЬ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ТЕЗАУРУСОВ

Статья посвящена новому модулю поиска, ранжирования и определения уровня релевантности многоязычных документов. Описанные методы основаны на метапоисковых мультилингвистических алгоритмах обработки информации.

Ключевые слова: ранжирование, уровень релевантности, метапоиск.

© Karaseva M. V., Bachurina E. P., Zelenkov P. V., Brezitskaya V. V., 2010

В. Е. Чеботарев, В. В. Попов, М. В. Валов, А. А. Внуков, Е. А. Шангина

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ МАССЫ РАБОЧЕГО ТЕЛА ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Разработана методика нормирования массы рабочего тела двигательной установки при проектировании космического аппарата, учитывающая неопределенности по параметрам и условиям, имеющим вероятностную природу. Предложено использовать увеличение массы рабочего тела двигательной установки после изготовления космического аппарата, а также даны запасы массы космического аппарата, закладываемые на парирование неопределенностей. Разработаны соответствующие аналитические модели расчета вероятности реализации дополнительной заправки. Проведена оценка эффективности применения предложенной методики.

Ключевые слова: системный анализ, нормирование запасов рабочего тела.

В задачу управления движением космического аппарата (КА) по орбите входит коррекция ошибок выведения КА, приведение его на орбиту с заданными параметрами, удержание КА на заданной орбите, увод с рабочей орбиты. Эти задачи решаются изменением параметров орбиты КА путем создания приращения скорости КА в выбранном направлении: по радиус-вектору, вектору скорости, бинормали к орбите. Из баллистического анализа формируются требования к суммарной характеристической скорости для коррекции орбиты $\Delta V_{\text{хар}}$, которая, в зависимости от реальных условий, занимает определенный диапазон значений $\Delta V_{\text{хар}}^{\min} \leq \Delta V_{\text{хар}} \leq \Delta V_{\text{хар}}^{\max}$ (волнистая черта над $\Delta V_{\text{хар}}$ означает ее переменность). Приращение скорости КА в выбранном направлении обеспечивается созданием импульса с помощью реактивной двигательной установки (ДУ). Кроме того, во многих случаях эта же ДУ используется для формирования управляющих моментов при реализации режимов ориентации КА [1–4; 5; 6].

Нормирование запасов рабочего тела ДУ КА для коррекции орбиты. Величина требуемой массы рабочего тела ДУ ($M_{\text{рт}}^{\text{тр}}$) в зависимости от приращения характеристической скорости КА ($\Delta V_{\text{хар}}$) и начальной массы КА ($M_{\text{КА}}^{\text{н}}$) в процессе выдачи импульса определяется формулой Циолковского

$$\Delta V_{\text{хар}} = V_{\text{ист}} \cdot \ln \frac{M_{\text{КА}}^{\text{н}}}{M_{\text{КА}}^{\text{н}} - M_{\text{рт}}^{\text{тр}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{ист}}$ – скорость истечения реактивной струи.

Для малых значений изменения массы КА уравнение (1) можно упростить [6]:

$$\Delta V_{\text{хар}} = V_{\text{ист}} \cdot \frac{M_{\text{рт}}^{\text{тр}}}{M_{\text{КА}}^{\text{н}}};$$

$$I_{\Sigma}^{\text{к}} = \Delta V_{\text{хар}} \cdot M_{\text{КА}}^{\text{н}} = V_{\text{ист}} \cdot M_{\text{рт}}^{\text{тр}} = I_{\text{уд}} \cdot M_{\text{рт}}^{\text{тр}}, \quad (2)$$

где $I_{\Sigma}^{\text{к}}$ – суммарный импульс коррекции; $I_{\text{уд}}$ – удельный импульс.

Погрешность расчетов составляет не более 1 % для соотношения $\frac{M_{\text{рт}}^{\text{тр}}}{M_{\text{КА}}^{\text{н}}} \leq 0,15$.

Уравнения (2) позволяют задать требования к суммарному импульсу ДУ при известных значениях приращения характеристической скорости КА и начальной массы КА.

В целях гарантированного решения задач коррекции орбит применяется методика нормирования требуемого суммарного импульса ДУ для наихудших условий [4; 7]:

$$I_{\Sigma}^{\max} = \Delta V_{\text{хар}}^{\max} \cdot M_{\text{КА}}^{\text{н}}. \quad (3)$$

Одновременно с этим решается задача выбора типа ДУ, который определяется требуемым суммарным импульсом и эффективностью его реализации, т. е. величиной удельного импульса. Величина удельного импульса зависит от типа реактивных двигателей, используемого рабочего тела, условий эксплуатации, поэтому на этапе проектирования задается определенный диапазон его значений $I_{\text{уд}} = I_{\text{уд}}^0 \pm \Delta I_{\text{уд}}$.

Приращение скорости в выбранном направлении орбитальной системы координат организуется формированием импульса реактивных двигателей в заданном направлении линии действия тяги относительно системы координат КА и ориентацией осей системы координат относительно орбитальной. Отличия в направлениях этих систем координат, а также погрешность ориентации КА снижает эффективность выдачи импульса коррекции, которая учитывается следующим образом:

$$I_{\Sigma}^{\text{тр}} = \frac{I_{\Sigma}^{\max}}{K_{\text{эф}}^{\text{ЛГД}}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{эф}}^{\text{ЛГД}}$ – коэффициент эффективности выдачи импульса коррекции.

Масса рабочего тела, обеспечивающего выдачу максимального значения требуемого суммарного импульса, определяется также для наихудших случаев реализации удельного импульса [1; 4; 5; 7]:

$$M_{\text{рт}}^{\text{н}} = \frac{I_{\Sigma}^{\text{тр}}}{I_{\text{уд}}^0 - \Delta I_{\text{уд}}}. \quad (5)$$

Нормирование запасов рабочего тела ДУ КА для создания управляющих моментов. Системы ориентации КА используют ДУ для формирования управляющих моментов по трем каналам при реализации следующих режимов [4]:

- успокоение КА и начальная ориентация ($K_{\text{усп}}^{\text{COC}}$);
- разгрузка управляющих маховиков во всех режимах ориентации ($K_{\text{раб}}^{\text{COC}}$);
- стабилизация КА в режиме выдачи импульса коррекции ($K_{\text{кор}}^{\text{COC}}$);

$$K_{\Sigma}^{\text{COC}} = K_{\text{усп}}^{\text{COC}} + K_{\text{раб}}^{\text{COC}} + K_{\text{кор}}^{\text{COC}},$$

$$K_{\text{кор}}^{\text{COC}} = K_{\kappa}^{\text{COC}} \cdot I_{\Sigma}^{\text{TP}} \cdot r_{\text{ЛГД}}, \quad (6)$$

где $r_{\text{ЛГД}}$ – эксцентриситет линии действия тяги двигателей коррекции относительно центра масс КА; K_{κ}^{COC} – коэффициент, учитывающий разложения возмущающего момента по осям ($1 \leq K_{\kappa}^{\text{COC}} \leq 1,4$).

Величина импульса ДУ для реализации управляющих моментов зависит от их перераспределения по осям и геометрии размещения реактивных двигателей, формирующих управляющий момент [4]:

$$K_{\Sigma}^{\text{COC}} = I_X^{\text{COC}} \cdot X_{\text{до}} + I_Y^{\text{COC}} \cdot Y_{\text{до}} + I_Z^{\text{COC}} \cdot Z_{\text{до}}, \quad (7)$$

где $I_X^{\text{COC}}, I_Y^{\text{COC}}, I_Z^{\text{COC}}$ – распределение импульсов ДУ по осям стабилизации КА; $X_{\text{до}}, Y_{\text{до}}, Z_{\text{до}}$ – величина плеча установки двигателей ориентации.

В результате нормируются затраты массы рабочего тела на реализацию режимов работы СОС [4]:

$$M_{\text{СОС}}^{\text{PT}} = \frac{I_X^{\text{COC}} + I_Y^{\text{COC}} + I_Z^{\text{COC}}}{I_{\text{уд}}^{\text{COC}}}. \quad (8)$$

Повышение заправки рабочим телом ДУ за счет использования резервной массы КА. Проектирование КА и его составных частей осуществляется в условиях неопределенностей [4–6].

Наличие неопределенности в значениях параметров, а также погрешности их реализации при изготовлении прибора приводит к тому, что масса бортовой аппаратуры становится случайной величиной с неизвестным законом распределения:

$$m_i^{\text{НОМ}} - \Delta m_i \leq m_i \leq m_i^{\text{НОМ}} + \Delta m_i, \quad (9)$$

где $m_i, m_i^{\text{НОМ}}$ – фактическое и номинальное значения массы; Δm_i – диапазон отклонения массы.

Для КА в целом масса будет также случайной величиной, которая в соответствии с центральной предельной теоремой для большого количества составных элементов КА будет иметь нормальное распределение вероятности [3; 4; 6; 7]:

$$\text{Вер} [M_{\text{КА}} \leq M_{\text{КА}}^{\text{НОМ}} + t_{\phi}^T \cdot Q_m] = \Phi_m;$$

$$M_{\text{КА}} = \sum_i^n m_i;$$

$$M_{\text{КА}}^{\text{НОМ}} = \sum_i^n m_i^{\text{НОМ}};$$

$$\Phi_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t_{\phi}} e^{-t^2/2} \cdot dt;$$

$$Q_m = \sqrt{\sum_i^n \Delta m_i^2}, \quad (10)$$

где t_{ϕ}^T – квантиль распределения вероятности по массе; Φ_m – интеграл вероятности; n – количество составных элементов КА; $M_{\text{КА}}, M_{\text{КА}}^{\text{НОМ}}$ – фактическая и номинальная масса КА.

Исходя из условия обеспечения гарантированного выведения КА на орбиту к массе КА выставляется следующее ограничение:

$$M_{\text{КА}}^{\text{НОМ}} + \Delta m_n \leq M_{\text{КА}}^{\text{ПР}},$$

$$\Delta m_n = \sum_i^n \Delta m_i, \quad (11)$$

где Δm_n – суммарные запасы массы на парирование неопределенностей; $M_{\text{КА}}^{\text{ПР}}$ – предельная масса КА, ограниченная энергетикой ракетоносителя.

Разница между предельной массой и фактической массой КА определяет величину ожидаемой резервной массы КА ($\Delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}}$):

$$\Delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}} = M_{\text{КА}}^{\text{ПР}} - M_{\text{КА}} = \Delta m_n - t_{\phi}^T \cdot Q_m;$$

$$\text{Вер} [\Delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}} \geq \Delta m_n - t_{\phi}^T \cdot Q_m] = \Phi_m. \quad (12)$$

Для удобства оценки величины резервной массы КА

введем относительные единицы $\delta m_i = \frac{\Delta m_i}{m_i}$ и преобразуем формулу (12), полагая, что $\delta m_1 = \delta m_2 = \dots = \delta m_3$:

$$\delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}} = \frac{\Delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}}}{M_{\text{КА}}^{\text{НОМ}}} = \delta m_3 \cdot \left(1 - \frac{t_{\phi}^T}{\sqrt{n}}\right);$$

$$\text{Вер} \left[\delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}} \geq \delta m_3 \cdot \left(1 - \frac{t_{\phi}^T}{\sqrt{n}}\right) \right] = \Phi_m. \quad (13)$$

Задавая предельный уровень вероятности, при котором гарантируется непревышение предельной массы ($\Phi_{\text{зад}} \approx 0,997$), получим максимальное значение квантиля распределения вероятности $t_{\phi}^{\text{ПР}} = 2,8$.

На начальных этапах проектирования рекомендуются следующие подходы к нормированию значений δm [4; 7]:

– для заимствованной аппаратуры с небольшими изменениями ее характеристик – запас $\pm 3\%$, при больших изменениях – запас $\pm 4\%$, при использовании новой технологии – запас $\pm 6\%$;

– для вновь разработанной аппаратуры – запас $\pm 8\%$.

На этапе изготовления элементов конструкции, кабельной сети, узлов и приборов КА требования к предельному отклонению масс регламентируются нормативными документами: $\pm 10\%$ (масса 0,2–0,5 кг); $\pm 8\%$ (масса 0,5–3,0 кг); $\pm 5\%$ (масса 3,0–5,0 кг); $\pm 3\%$ (масса более 5,0 кг).

В этом случае для реального количества составных элементов КА $n \leq 100$ и $\delta m_3 = 0,03$ (минимальный разброс), получим $\Delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}} = 0,022 \cdot M_{\text{КА}}^{\text{НОМ}}$.

В результате, масса заправляемого топлива ДУ на момент взвешивания изготовленного КА может быть увеличена за счет резервной массы КА.

Нормирование заправки ДУ рабочим телом. Масса заправляемого рабочего тела должна быть больше на величину $\Delta m_{\text{зап}}^{\text{РТ}}$ массы рабочего тела, используемого для формирования импульса, и учитывать следующие факторы: погрешность заправки, невыработанные остатки рабочего тела, утечки рабочего тела вследствие негерметичности [5]:

$$M_{\text{зап}}^{\text{РТ}} = M_{\text{РТ}}^{\text{Н}} + M_{\text{СОС}}^{\text{РТ}} + \Delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}} + \Delta m_{\text{зап}}^{\text{РТ}}. \quad (14)$$

Полученное значение массы заправляемого рабочего тела гарантированно обеспечивает реализацию требуемого значения суммарного импульса скорости КА, а также управляющих моментов и определяет необходимый объем бака для хранения рабочего тела.

Оценка эффективности предложенных методик. В качестве примера возьмем КА на геостационарной орбите массой 900 кг, требующий суммарный импульс для коррекции орбиты 40 000 Н·с и суммарный импульс для формирования управляющих моментов 14 500 Н·с [5].

Для выдачи данного значения суммарного импульса подходит однокомпонентная (гидразиновая) ДУ, обеспечивающая удельный импульс в диапазоне 2020–2060 м/с при выдаче импульса для коррекции орбиты и удельный импульс в диапазоне 1660–1750 м/с при формировании управляющих моментов. В этом случае масса требуемого запаса рабочего тела согласно формуле (5) имеет вид

$$M_{\text{рт}}^{\text{к}} = \frac{40000}{2020} \approx 19,8 \text{ кг.}$$

Кроме того, для решения задач формирования управляющих моментов в интересах системы ориентации требуются дополнительные запасы рабочего тела согласно

$$\text{формуле (5), что будет равно } M_{\text{рт}}^{\text{cos}} = \frac{14500}{1660} \approx 8,7 \text{ кг.}$$

Для хранения рабочего тела используем типовой бак с характеристиками: максимальная масса заправляемого рабочего тела составляет 25,0 кг, объем полости бака – 40 л, погрешность заправки $\Delta M_{\text{зап}}^{\text{рт}} = 2,1 \text{ кг}$ [8].

Для размещения всего запаса рабочего тела с учетом погрешности заправки требуются два бака, величина заправки каждого из которых составит ~ 65,4 % от номинального значения. По результатам взвешивания изготовленного КА согласно формуле (13) с вероятностью 0,997 может быть получена следующая резервная масса: $\Delta m_{\text{рез}}^{\text{КА}} = 0,022 \cdot 900 \text{ кг} = 19,8 \text{ кг}$. Использование части резервной массы (18,3 кг) для заправки рабочего тела позволит увеличить заправку до ~ 100 %. В результате, для целей коррекции запасы РТ могут быть (с вероятностью более 0,997) увеличены в 2 раза. Увеличенные запасы рабочего тела, получаемые после взвешивания изготовленного КА, могут быть использованы на уменьшение времени проведения КА в рабочую точку за счет большей скорости смещения по аргументу широты, на уменьшение диапазона удержания КА около рабочей (системной) точки на орбите, обеспечение задач коррекции орбиты при функционировании КА после окончания гаранти-

рованного ресурса, для организации маневров по переводу в другую рабочую (системную) точку орбиты. В итоге повышаются эксплуатационные характеристики КА.

Таким образом, разработана методика нормирования запасов рабочего тела ДУ КА, учитывающая возможность дополнительной заправки за счет резервов массы КА.

Использование предложенной методики применительно к геостационарному спутнику связи, позволяет увеличить запасы рабочего тела для целей коррекции в 2 раза, что повышает эксплуатационные характеристики КА.

Библиографические ссылки

1. Беляев Н. М., Уваров Е. И. Расчет и проектирование РСУ КЛА. М. : Машиностроение, 1974.
2. Чернявский Г. М., Бартенев В. А. Орбиты спутников связи. М. : Связь, 1978.
3. Розанов Ю. А. Случайные процессы. М. : Наука, 1979.
4. Чеботарев В. Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения : учеб. пособие. В 2 кн. Кн. 1. Внешнее проектирование космического аппарата ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.
5. Чеботарев В. Е., Шангина Е. А. Особенности проектирования космического аппарата в условиях неопределенностей // Четвертые Уткинские чтения : Междунар. науч.-техн. конф. СПб., 2009.
6. Расчет заправки и остатков топлива в БХП ДУ КА «Луч-5А» при эксплуатации. Калининград : ОКБ «Факел», 2006.
7. Чеботарев В. Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения : учеб. пособие. В 2 кн. Кн. 2. Внутреннее проектирование космического аппарата ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2005.
8. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд., стер. М. : Наука, 1988.

V. E. Tchebotaryov, V. V. Popov, M. V. Valov, A. A. Vnukov, E. A. Shangina

TECHNIQUE OF RATE MAKING OF MEDIUM MASS OF THE WORKING BODY OF PROPULSION INSTALLATION OF THE SPACE VEHICLE IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

The technique of rationing of weight of a working body of propulsion installation at the space vehicle designing, considering uncertainty on parameters and conditions having a probabilistic nature has been developed. It is suggested to use spacecraft mass reserves, intended for uncertainty counteracting, for propulsion device working medium mass increase after spacecraft manufacturing. Analytical models of additional filling probability calculation have been devised. The effectiveness of the suggested method has been evaluated.

Keywords: the system analysis, rationing of stocks of a working body.

© Чеботарев В. Е., Попов В. В., Валов М. В., Внуков А. А., Шангина Е. А., 2010

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛОВ СРНС ГЛОНАСС И GPS НА ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ КООРДИНАТ

Рассматривается влияние условий прохождения СРНС ГЛОНАСС И GPS на погрешность определения относительных координат.

Ключевые слова: задержка сигнала, многолучевость, погрешность, частота, навигационный космический аппарат.

Предварительный анализ показывает, что существенным источником погрешности является разность условий прохождения сигналов НКА систем ГЛОНАСС и GPS [1; 2], что влечет за собой разность задержек сигнала, которая может привести к дополнительной систематической погрешности определения относительных координат.

Разность задержек сигнала может происходить по ряду причин. Во-первых, это влияние ионосферы и тропосферы. В разных точках, где установлена АРН, могут различаться параметры ионосферы и тропосферы, влияющие на величину задержки сигнала. Это различие носит случайный характер, но с увеличением расстояния между антеннами эта погрешность будет увеличиваться, в следствии того, что свойства ионосферы и тропосферы будут все больше отличаться. При разнесении антенн АРН на расстояние более 100 км разность атмосферной погрешности сигнала от одного НКА может достигать нескольких метров.

Еще одним существенным источником погрешности является погрешность, обусловленная интерференцией в месте приема [3]. Данная погрешность измерения фазы сигнала вызвана интерференцией на приемной антенне основного сигнала и сигналов, отраженных от местных предметов. Часто эту составляющую погрешности называют погрешностью многолучевости. Погрешность многолучевости зависит от конкретных условий работы АРН и, как правило, не может быть спрогнозирована заранее. Для большинства случаев эта погрешность может рассматриваться как случайная низкочастотная составляющая.

Значение погрешности измерения параметров сигналов, обусловленное многолучевым распространением, трудно поддается оценке ввиду нестационарности интерферирующих сигналов. Наличие вблизи от антенны объектов с большой эффективной отражающей поверхностью, например, металлических конструкций, может вообще сделать невозможным измерения, за счет привнесения в результаты anomalно больших погрешностей измерения фазы. Для измерений задержки по дальномерному коду, данная погрешность при неблагоприятных условиях может составлять десятки наносекунд. Для АРН, которая проводит измерения по фазе несущей частоты сигнала НКА, влияние интерференции прямого и отраженных сигналов может оказаться недопустимо большим. Оно способно полностью разрушить фазовую информацию о задержке (приращении задержки) сигнала и привести к неработос-

пособности фазовых алгоритмов определения навигационных параметров. При этом сигналы НКА могут приниматься, причем с достаточным отношением сигнал/шум, что затрудняет при решении навигационной задачи применение весовой обработки сигналов с целью уменьшения негативного влияния интерференционной погрешности. В связи с этим, для фазовой аппаратуры систем ГЛОНАСС и GPS должны быть, безусловно, обеспечены условия приема, гарантирующие отсутствие интенсивных отраженных сигналов. Разумеется, данное обстоятельство является серьезным ограничением, уменьшающим область возможных применений фазовой АРН.

На величину погрешности многолучевости большое влияние оказывает форма диаграммы направленности антенн АРН, наличие боковых и задних лепестков диаграммы направленности. Причем важно контролировать форму диаграммы направленности не только по основной (круговой правой) поляризации, но и по обратной (левой) поляризации, поскольку отраженные сигналы как раз имеют обратную поляризацию.

Методами борьбы с данной составляющей погрешности являются отказ от работы с сигналами НКА, имеющими малые углы возвышения («сужение» диаграммы направленности), формирование диаграммы направленности с малым уровнем боковых и задних лепестков, оптимальное размещение антенн на объекте, минимизирующее попадание отраженных сигналов в раскрыт диаграммы направленности антенн. Перспективным для борьбы с данной погрешностью является комплексирование АРН с дополнительными независимыми источниками навигационной информации, например, инерциальными датчиками.

Библиографические ссылки

1. Conley R., Lavrakas J. W. The world after Selective Availability // Proceedings of ION GPS-99. The Satellite Division of the Institute of Navigation 12th International Technical Meeting. Nashville, Tennessee, September 14–17, 1999. P. 1353–1361.
2. Camargo P. O., Monico J. F. G., Ferreira L. D. D. Application of ionospheric corrections in the equatorial region for L1 GPS users // Earth Planets Space. 2000. Vol. 52. P. 1083–1089.
3. Липкин И. А. Спутниковые навигационные системы. М. : Вузовская книга, 2001.

Е. Н. Гарин

THE INFLUENCE OF CONDITIONS FOR PASSING GLONASS AND GPS SATELLITE RADIO NAVIGATION SIGNALS ON THE ERRORS OF DEFINING RELATIVE COORDINATES

The influence of the conditions for passing GLONASS and GPS satellite radio navigation signals on the errors of defining relative coordinates is overlooked.

Keywords: signal delay, multipath propagation, error, frequency, navigation spacecraft.

© Гарин Е. Н., 2010

УДК 621.45 – 181.4:629.78

Е. М. Краева

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБТЕКАНИЯ РЕШЕТКИ ПРОФИЛЕЙ МАЛОРАСХОДНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ПОТОКОМ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ*

С учетом конструктивных особенностей проточной части рабочего колеса малорасходного центробежного насоса выполнен анализ обтекания решетки профилей потока вязкой жидкости. Выполнен расчет параметров пограничного слоя.

Ключевые слова: гидродинамика, малорасходный центробежный насос, рабочее колесо, пограничный слой, степень диффузорности.

В анализе принято значение степени диффузорности канала рабочего колеса (РК) насоса, при котором на рабочей (напорной) стороне лопатки реализуется безотрывное обтекание профиля, а отрыв с развитием спутного потока реализуется на тыльной стороне профиля лопатки. Эта особенность гидродинамики РК МН была экспериментально изучена при визуализации и испытаниях [1]. Критическое значение степени диффузорности $\bar{W}$ в экспериментах находилось по непосредственному измерению параметров и реализуемому КПД насоса. В определенную таким образом величину $\bar{W}$ не входят в явном виде такие важные характеристики РК как густота решетки τ , распределение скоростей по контурам профиля лопатки, параметры пограничного слоя и их изменения по длине канала.

К параметрам, характеризующим пограничный слой, как правило, относят [2] не саму толщину пограничного слоя δ , в пределах которой величина скорости потока W_x отличается на 1 % от скорости ядра W_κ , а толщину вытеснения динамического пограничного слоя δ^* , соответствующую расстоянию, на которое сдвигаются от профиля лопатки линии тока внешнего течения вследствие образования пограничного слоя. Это позволяет при определении расхода вязкой жидкости принимать поток невязким, но считать, что он отнесен от поверхности лопатки на величину δ^* . Значение толщины вытеснения находим из выражения [2]

$$W_\kappa \delta^* = \int_0^\delta (W_\kappa - W_x) dn, \quad (1)$$

где W_x – текущее значение скорости потока в пограничном слое.

Так как при $n \rightarrow \infty$; $W_x \rightarrow W_\kappa$ подынтегральное выражение стремится к нулю, тогда получим

$$\delta^* = \int_0^\infty \left(1 - \frac{W_x}{W_\kappa}\right) dn$$

или

$$W_\kappa \delta^* = \int_0^\delta (W_\kappa - W_x) dn = \int_0^\infty (W_\kappa - W_x) dn. \quad (2)$$

Аналогично для толщины потери импульса

$$W_\kappa^2 \delta^{**} = \int_0^\delta W_x (W_\kappa - W_x) dn. \quad (3)$$

Для анализа, в силу осесимметричности степени сдвига потока в радиальной плоскости по шагу решетки, действительный трехмерный поток в РК МН условно разделяем на два: внешнее ядро потока (вне пограничного слоя) и пограничный слой, в котором проявляются силы вязкости.

При профилировании и расчете течения в круговых решетках лопаточных машин целесообразно использовать соответствующие исследования прямых решеток, и все изученные свойства потока через прямые решетки непосредственно распространить на круговые решетки. При этом наиболее эффективно применение метода конформных отображений [3].

* Работа выполнена при поддержке грантов: АВИЦП РПН ВШ № 2.1.2/802.

Применительно к РК лопаток одинарной кривизны, образующая которых параллельна вектору угловой скорости ω . Профили круговых решеток в полярных координатах R, θ и их конформное отображение на плоскостях x, y приведены на рис. 1. Используя граничные условия $x = 0, R = R_1$ и $x = S, R = R_2$, получим связь между текущими координатами прямой решетки x, y и полярными координатами R, θ профиля круговой решетки:

$$R = R_1 \exp \frac{x}{l} \ln \frac{R_2}{R_1};$$

$$\theta = \frac{\pi y}{t_{np}}; \quad \frac{l_{np}}{t_{np}} = \frac{z \ln \frac{R_2}{R_1}}{2\pi}. \quad (4)$$

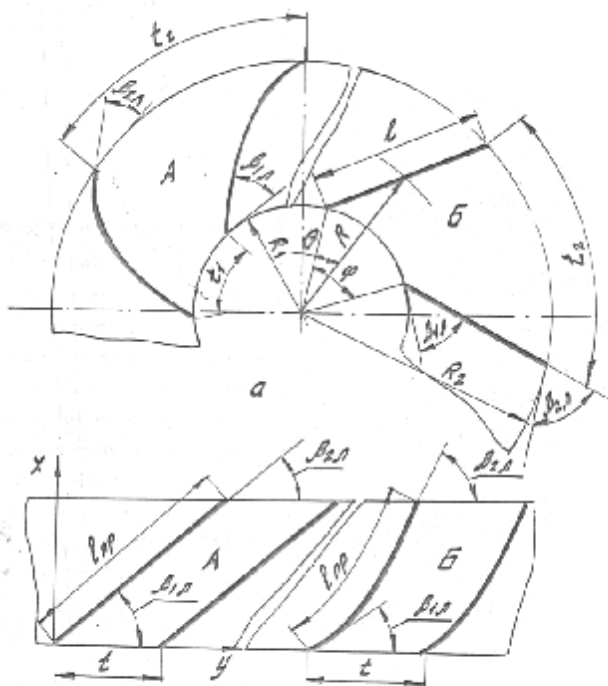


Рис. 1. Схемы решеток профилей при их конформном перестроении: а – круговые; б – прямые

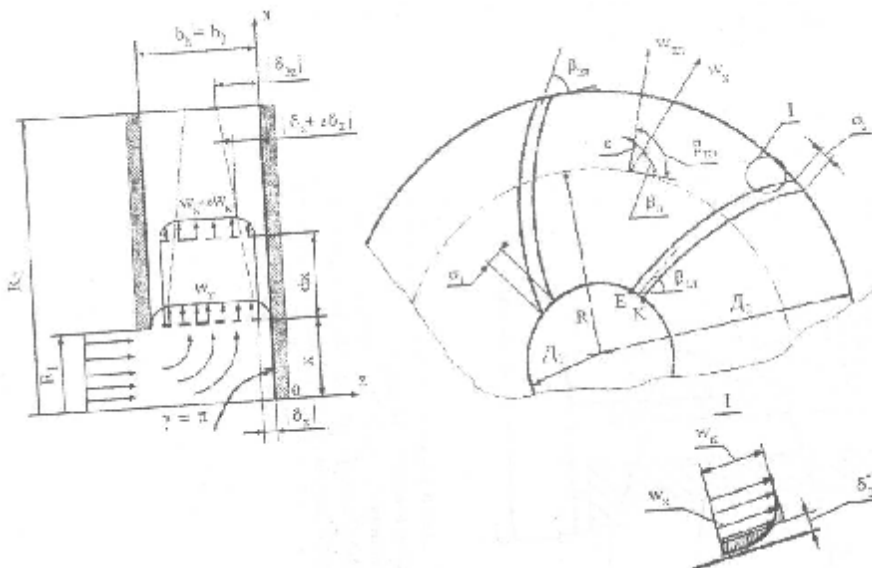


Рис. 2. Расчетная схема течения в РК центробежного насоса

Сформулируем основные положения принятой модели течения при расчете закрытого РК насоса.

1. Абсолютная скорость потока на входе в РК постоянна и направлена параллельно оси вращения РК.

2. Сдвиговые течения в плоскости вращения по дискам РК существенны и их необходимо учитывать.

3. Средняя скорость потока в решетке постоянна и с учетом сдвига равна скорости на выходе РК ($W_k = W_2$).

4. Форма входной кромки лопатки представлена на рис. 2, а обтекание ее соответствует натеканию потока вязкой жидкости окрестности клинообразного тела с критической точкой E на вершине.

5. Влиянием пограничных слоев вдоль каналов и начальным сдвигом потока в меридиональной плоскости на основной поток пренебрегаем.

6. Характеры течений на покрывном и ведущем дисках РК при $\bar{W} < 5$ отличаются незначительно, что допускает принять плоскость симметрии потока по средней линии (по ширине) межлопаточного канала (рис. 2). Поэтому при расчете пограничных слоев на лопатках (с учетом сдвиговых течений по дискам) учитывается симметричность параметров вторичных течений.

7. Эффектами, связанными с течением в углах (в стыке между лопатками и дисками), и их влиянием на профиль скорости вторичных течений пренебрегаем.

Наличие градиента давления по шагу межлопаточного канала приводит к поперечному сдвиговому течению, что вызывает изменение характера потока в пограничном слое вдоль дисков РК. Большая относительная толщина пограничного слоя на дисках РК, с учетом сдвигового течения ядра потока в радиальной плоскости, предопределяет условное разделение потока в канале РК на ядро со скоростью W_k и вязкий пограничный слой, рассчитываемый с использованием интегрального уравнения импульсов [2]. Этот метод достаточно точен для инженерной практики и позволяет сравнить результаты расчета с опытом, учитывая более надежное определение в РК МН опытных интегральных, а не локальных параметров потока.

Течение на входном участке в РК рассмотрим с учетом особенностей поворота потока в окрестности крити-

ческой точки с координатами $x = 0$; $z = 0$ (рис. 2). При таком течении, жидкость, набегающая на ограничивающий диск РК, оттекает от критической точки 0 вдоль диска во все стороны равномерно до входа в межлопаточный канал РК, лопатки которого образуют решетку профилей.

Точное решение такой задачи для осесимметричного течения ввиду его аффинно-подобия вблизи критической точки выполнено Н. Фреслингом [2]. Расчет параметров осесимметричного течения на входе в РК сводится к расчету пограничного слоя плоского течения около клина с углом раствора $\gamma = \pi\psi = \frac{\pi}{2}$ [2]. В этом случае скорость потенциального течения вдоль ограничивающего диска имеет вид [2]

$$W_x = cx^m, \quad (5)$$

где c и m – постоянные величины.

Тогда m рассчитывается по формуле

$$m = \frac{\psi}{2 - \psi} = \frac{\gamma/\pi}{2 - \gamma/\pi} = \frac{\gamma}{2\pi - \gamma} = \frac{1}{3}. \quad (6)$$

По оси z соответствующее значение толщины пограничного слоя определяется по выражению [2]

$$\delta_{z0} \approx 4,4 \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что вблизи критической точки величина, на которую распространяется влияние трения, пропорциональна корню квадратному из кинематической вязкости и с учетом ω составляет малое значение. Следует заметить, что безразмерное распределение скоростей $\frac{W_x}{W_\kappa}$ и значение δ_{z1} не зависят от координаты x , т. е. не изменяются вдоль радиуса диска вплоть до начала лопаток на радиусе R_1 . Это позволяет проводить расчет течения вдоль ограничивающих дисков межлопаточных каналов РК МН от радиуса R_1 и далее по каналу, принимая $\delta_{z0} = \delta_{z1} = \text{const}$.

Для каналов с гидродинамической степенью диффузорности $\bar{W}_r = \frac{W_1}{W_2} = 1$ при $x = l_{\text{пр}}$ имеем $W_x \approx W_2$.

С учетом сдвига по дискам относительно средней линии каналов будет $W_{(x)} \cos \varepsilon = W_\kappa \cos \varepsilon_R$. Тогда из уравнения (5) получим

$$c = \frac{W_x}{x^m} = \frac{W_\kappa \cos \varepsilon_R}{l_{\text{пр}}^m}. \quad (8)$$

Уравнение (8) запишем следующим образом:

$$W_x = \frac{W_\kappa \cos \varepsilon_R}{l_{\text{пр}}^m} x^m. \quad (9)$$

При переходе от круговой к прямой решетке, с учетом выражения (5), получим уравнение средней линии канала РК в виде

$$x = \frac{l_{(x)}(l_n R_2 - l_n R_1)}{l_n \frac{R_2}{R_1}}, \quad (10)$$

тогда выражение (9) будет выглядеть следующим образом:

$$W_x = W_\kappa \bar{l}_{\text{пр}}^m \left[\frac{l_n R_2 - l_n R_1}{l_n \frac{R_2}{R_1}} \right]^m \cos \varepsilon_R, \quad (11)$$

где $\bar{l}_{\text{пр}} = \frac{l(x)}{l_{\text{пр}}}$; $l(x)$ – текущее значение длины канала.

При $\gamma = 0$ имеем случай продольного обтекания пластины со сдвигом. Тогда из уравнения (5) $m = 0$ и величина относительно скорости на выходе из РК МН имеет вид

$$W_{(x)2} = W_\kappa \cos \varepsilon_R = W_2. \quad (12)$$

Будем считать, что по всей поверхности дисков РК пограничный слой ламинарный (впоследствии это докажем). Решение уравнения пограничного слоя проводим с учетом градиентного течения, используя для оценки закона изменения толщины потери импульса δ_{z1}^{**} вдоль ограничивающих дисков межлопаточного канала выражение из работы [2], сведенное к простой квадратуре:

$$(\delta_z^{**})^2 = \frac{0,47\nu}{W_{(x)}^6} \int_0^l W_{(x)}^5 dx. \quad (13)$$

С учетом уравнения (11), решая относительно δ_z^{**} , имеем

$$\delta_{z1}^{**} = 0,686 \times \sqrt{\frac{\nu l_{\text{пр}}^m \left[l_n \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \right]^m}{(5m+1) [l_n R_2 - l_n R_1]^m W_\kappa \cos \varepsilon_R l(x)^{m-1}}}. \quad (14)$$

При $m = 0$; $\varepsilon_{R2} = 0$ и $l(x) = l_{\text{пр}}$ уравнение (14) принимает вид

$$\delta_{z1}^{**} = 0,686 \sqrt{\frac{\nu l_{\text{пр}}}{W_\kappa}}, \quad (15)$$

и дает результат, соответствующий точному решению при продольном обтекании плоской пластины.

Для оценки толщины вытеснения пограничного слоя воспользуемся вспомогательной функцией [2]

$$f_1(\chi) = \frac{\delta_z^{**}}{\delta_z^{**}}, \quad (16)$$

в которой значение формпараметра (χ), согласно Г. Хольштейну и Т. Болену [2], выразим следующим образом:

$$\chi = \left(\frac{\delta_z^{**}}{\nu} \right)^2 \frac{dW(x)}{dx} = \frac{m}{(10,64m + 2,128)}. \quad (17)$$

Выражение для касательного напряжения τ на ограничивающих поверхностях дисков определим, воспользовавшись табличной функцией $f_2(\chi)$ [2]:

$$f_2(\chi) = \frac{\delta_z^{**} \tau_0}{\nu W(x)}. \quad (18)$$

Откуда

$$\tau_{0z} = \frac{\tau \nu f_2(\chi) W_\kappa}{\delta_{z1}^{**}}, \quad (19)$$

где

$$f_2(\chi) = \left(2 + \frac{\Lambda}{6} \right) \left(\frac{37}{315} - \frac{\Lambda}{945} - \frac{\Lambda^2}{9072} \right). \quad (20)$$

С учетом постоянного значения гидродинамической степени диффузорности РК ($W_\kappa = W_2$), согласно

К. Польгаузену в работе [2], $\delta_{z1}^{**} \sqrt{\frac{W_\kappa}{\nu}} = \sqrt{\chi_0} = 0,278$ уравнение (19) запишем

$$\tau_{0z} = f_2(\chi) \rho v W_{\kappa} \sqrt{\frac{W_{\kappa}}{v \chi}} = \frac{f_2(\chi) \rho v W_{\kappa}}{\delta_{z1}^{**}} \quad (21)$$

или, с учетом значения $f_2(\chi) = 0,235$, имеем

$$\tau_{0z} = \frac{0,235 \rho W_{\kappa} v}{\delta_{z1}^{**}}, \quad (22)$$

где значение δ_{z1}^{**} определяется по уравнению (14).

Решение уравнений пограничного слоя К. Польгаузен-ном для случая продольного обтекания плоской пластины ($m = 0$) дает выражение

$$\delta_{z1}^{**} = 0,686 \sqrt{\frac{v l_{np}}{W_{\kappa}}}. \quad (23)$$

Тогда уравнение (21) преобразуем к виду

$$\tau_{z1} = 0,343 \rho v^{0,5} W_{\kappa}^{1,5} \quad (24)$$

или с учетом сдвигового течения

$$\tau_{z1} = 0,343 \rho l_{(s)}^{\frac{m-1}{2}} \sqrt{W_{\kappa}^3 v (5m+1) \cos \varepsilon_{R2}} \times \left(\frac{\ln R_2 - \ln R_1}{l_{np} \ln R_2 / R_1} \right)^{\frac{m}{2}}. \quad (25)$$

Результаты расчета параметров пограничного слоя δ_z^* , δ_z^{**} вдоль ограничивающих дисков каналов РК в зависимости от скорости набегающего потока $W(x)$, с учетом сдвига в радиальной плоскости на угол ε со следующими параметрами: $R_1 = 8,25$ мм; $R_2 = 20,25$ мм; шаг решетки $t_{np} = 14,95$ мм ($z = 6$); $l_{np} = 18,6$ мм; ширина канала $b_1 = 4,3$ мм и угловой скорости $\omega = 800$ рад/с (рис. 3); для ряда рабочих жидкостей: вода ($\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\rho = 10^3$ кг/м³); водный раствор глицерина ($\nu = 1 \cdot 10^{-4}$ м²/с; $\rho = 1,23 \cdot 10^3$ кг/м³); ЛЗ-ТК-2 при $t = +20$ °С ($\nu = 0,7 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\rho = 691$ кг/м³) и при $t = -100$ °С ($\nu = 1,55 \cdot 10^{-5}$ м²/с; $\rho = 784$ кг/м³).

Из графиков видна существенная зависимость роста δ_z^{**} и δ_z^* с увеличением вязкости рабочей среды. Это приводит к оттеснению области течения, которое можно рассматривать как потенциальное, от стенок канала и сужению проходного сечения межлопаточных каналов на выходе РК до 50 %, что необходимо учитывать при расчете МН. Следует отметить, что значения толщины вытеснения и потери импульса возрастают, достигая на половине расчетного участка 80 % своего значения, соответствующего параметрам на выходе из РК.

Е. М. Kraeva

THEORETICAL ANALYSIS OF FLOW OF CASCADE OF LOW-FLOW CENTRIFUGAL PUMP BY VISCID FLUID STREAM

In view of design features of air-gas channel of impeller of low-flow centrifugal pump the analysis of flow of cascade by viscid fluid flow is executed. Calculation of parameters of a boundary layer is executed.

Keywords: hydrodynamics, low-flow centrifugal pump, impeller, boundary layer, diffuser degree.

С учетом уравнений (14) и (16) для приведенных выше параметров РК МН при угловой скорости $\omega = 800$ рад/с для ряда реальных рабочих тел число Рейнольдса $Re_{кр0z}^*$ изменялось от 34,2 ($\nu = 10^{-4}$ м²/с) до 342 ($\nu = 0,7 \cdot 10^{-6}$ м²/с), что существенно ниже его критического значения (рис. 3).

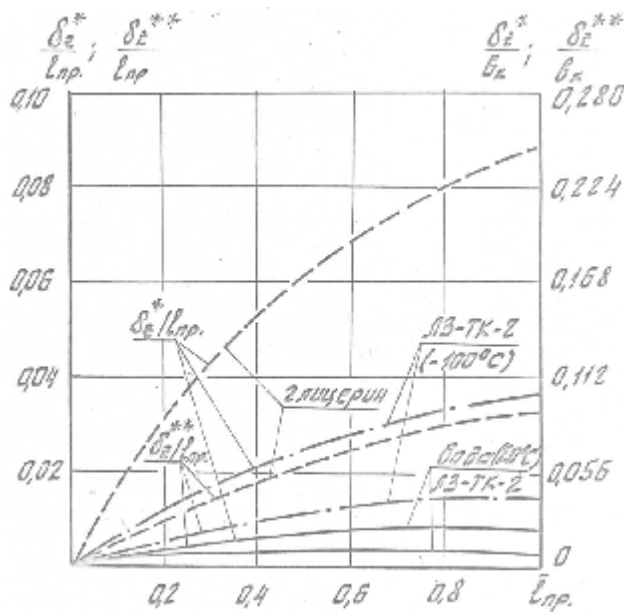


Рис. 3. Результаты расчета параметров пограничного слоя для ряда рабочих жидкостей вдоль ограничивающих дисков канала РК ($R_1 = 8,25$ мм; $R_2 = 20,25$ мм; $b_1 = 4,3$ мм; $t_{np} = 14,95$ мм ($z = 6$); $l_{np} = 18,6$ мм; $\omega = 800$ рад/с)

Таким образом, для правильно спроектированных РК при реализуемых в эксплуатации режимах работы МН в широком диапазоне изменения параметров рабочего тела присущ ламинарный пограничный слой по всей длине проточной части каналов РК.

Библиографические ссылки

1. Отчет по НИР Б1.6.08 «Математическое моделирование и гидродинамический анализ трехмерного пространственного течения (I этап). № 0120.0804367 ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969.
3. Степанов Г. Ю. Гидродинамика решеток гидромашин. М.: Физматгиз, 1962.

И. О. Бобарика

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКРАНОПЛАНА СХЕМЫ «УТКА» С УЧЕТОМ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЕГО НЕСУЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассматривается влияние взаимного расположения несущих поверхностей проектируемого экраноплана на его характеристики. Определяются возможные изменения аэродинамических характеристик, габаритных размеров и весовых параметров аппарата при рациональном взаимном расположении несущих поверхностей с учетом их интерференции.

Ключевые слова: экраноплан, интерференция, взаимовлияние, эксперимент.

При проектировании экранопланов схемы «утка» несущие поверхности (НП) традиционно выполняются сильно разнесенными в продольной плоскости для минимизации отрицательной интерференции между НП и обеспечения устойчивости аппарата [1]. Однако, это влечет за собой существенное увеличение массы и габаритных размеров аппарата. Предлагается сближенное в продольной плоскости взаимное расположение НП, при котором основное крыло располагается в ближнем вихревом следе за ПГО таким образом, что несвернутая вихревая пелена за ПГО оказывается приведенной в носок основного крыла. При таком взаимном расположении НП носок основного крыла оказывается в зоне пониженного давления, при этом реализуется безударное обтекание основного крыла [2]. В результате, за счет уменьшения аэродинамического сопротивления основного крыла существенно увеличивается аэродинамическое качество НП. При этом рациональным взаимным расположением НП считается такое, при котором достигается наибольшее аэродинамическое качество системы.

Разработанная математическая модель описана в [3] и позволяет привести сходящую с ПГО вихревую пелену в носок основного крыла с помощью:

- изменения угла атаки ПГО;
- изменения отстояния ПГО от экрана;
- изменения расстояния между НП.

В качестве примера для НП из профиля Göttingen 434 проведены теоретические изыскания и построено семейство кривых их рациональных взаимных расположений для различных относительных отстояний основного крыла от экрана $\bar{h}_{кр}$ (рис. 1, 2).

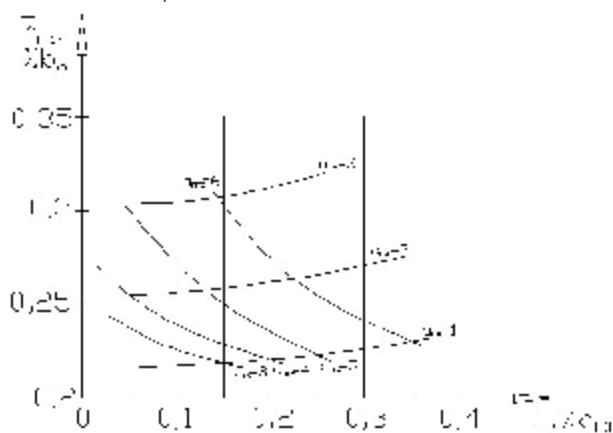


Рис. 1. Семейство кривых рациональных взаимных расположений несущих поверхностей при $\bar{h}_{кр} = 0,1$

Для проверки разработанной математической модели была проведена серия экспериментов в аэродинамической трубе.

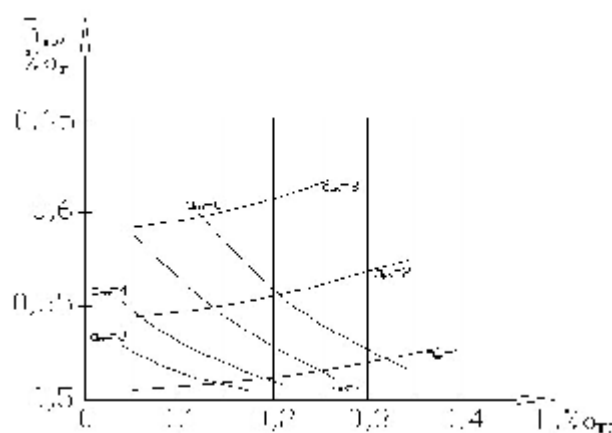


Рис. 2. Семейство кривых рациональных взаимных расположений несущих поверхностей при $\bar{h}_{кр} = 0,2$

При экспериментальных исследованиях с учетом существующих технических возможностей существуют следующие цели:

- подтверждение возможности наличия положительной интерференции НП схемы «утка» в зоне действия экранного эффекта при расположении основного крыла в ближнем вихревом следе за ПГО;
- путем сравнения теоретических результатов и тензометрических записей качественное подтверждение целесообразности выявления закономерностей поведения потока в межкрыльевом пространстве и, как следствие, закономерностей обеспечения рационального взаимного расположения НП для реализации максимального аэродинамического качества несущей системы;
- определение достоверности математической модели, описывающей поведение потока в межкрыльевом пространстве, и при необходимости обозначение основных направлений корректировок математической модели на основе экспериментальных данных;
- определение правильности принятия допущений о поведении потока с учетом диссипации в возмущенном следе за НП и о возрастании возмущений в потоке перед НП на основе экспериментальных данных.

Для проведения качественных экспериментов использовался экспериментальный комплекс, включающий в себя следующие компоненты:

- аэродинамическую трубу АТ-2 открытого типа с закрытой рабочей частью и регулируемым по высоте экраном;

- устройство для измерения составляющих векторов аэродинамической силы и момента;

- модель системы НП схемы «утка»;

- аппаратно-программный узел, включающий измерительную, регистрирующую и тарифовочную аппаратуру с источниками питания.

Аэродинамическая труба (АДТ) АТ-2 выполнена с прямоугольным сечением рабочей части и снабжена спрямляющей решеткой, расположенной во входной части. Механизм подъема–опускания экрана выполнен с электроприводом с дистанционным управлением, что позволяет изменять высоту экрана, не открывая рабочую часть АДТ, и это существенно уменьшает время эксперимента. Для минимизации возмущений механизм управления экраном выполнен вынесенным за пределы тракта трубы, а экран – листом Д-16Т толщиной 6 мм с острой передней кромкой. Скорость потока в рабочей части АДТ АТ-2 составляет 17 м/с.

Устройство для измерения составляющих векторов аэродинамической силы и момента (рис. 3) состоит из многокомпонентных тензовесов, в которых расположены чувствительные элементы 1 и 2 с расположенными на них тензодатчиками 3, закрепленные неподвижно на неподвижных опорах 4 и 5 поддерживающего устройства, включающего переднюю горизонтально расположенную балку 6 с пазом для продольного перемещения, соединенную с задней горизонтально расположенной балкой 7 болтами 15, задней стойкой 8, нижней частью, соединенной с моделью болтом 16, верхней частью, соединенной с задней частью задней балки болтами 17, средней стойку 9, имеющую в верхней части паз для перемеще-

ния в вертикальной плоскости, и нижней частью, соединенной болтом 18 с моделью, а верхней – с передней частью задней балки болтом 19, переднюю стойку 10, имеющую в верхней части паз для перемещения в вертикальной плоскости и паз в средней части, и нижней частью, соединенной болтом 20 с моделью, а верхней – с передней частью передней балки болтами 21, а также переднюю штангу 11, соединенную с нижней частью болтом 22 с моделью, а верхней – с передней стойкой болтом 23, соединенного шарнирными звеньями 12, расположенными на осях 13 с чувствительными элементами 1, и ненапрянутого элемента 14 типа канат, соединяющего модель с жестко закрепленным на передней опоре 5 чувствительным элементом 2. Опоры 4 и 5, балки 6 и 7, стойки 8, 9 и 10 и штанга 11 выполнены плоскими для минимизации вносимых возмущений, что позволяет считать испытываемые НП аэродинамически чистыми.

Описанное устройство для измерения составляющих векторов аэродинамической силы и момента является собственной разработкой авторов (И. Н. Гусев, И. О. Бобарика), выполненной в рамках данных исследований. Принято положительное решение от 06.08.2009 о выдаче патента на устройство согласно заявке № 2009128091/22(039030) от 20.07.2009.

Модель системы НП схемы «утка» представляет собой ПГО и основное крыло, выполненные в определенных соотношениях геометрических величин. Каждая из НП выполнена с наличием концевых шайб, характерных для экранопланов (концевые шайбы сделаны плоскими). На верхних поверхностях каждой НП выполнены элементы для крепления ее к соответствующим стойкам описанного поддерживающего устройства.

Для минимизации влияния стенок АДТ АТ-2 на характер обтекания системы НП размах большей НП (ос-

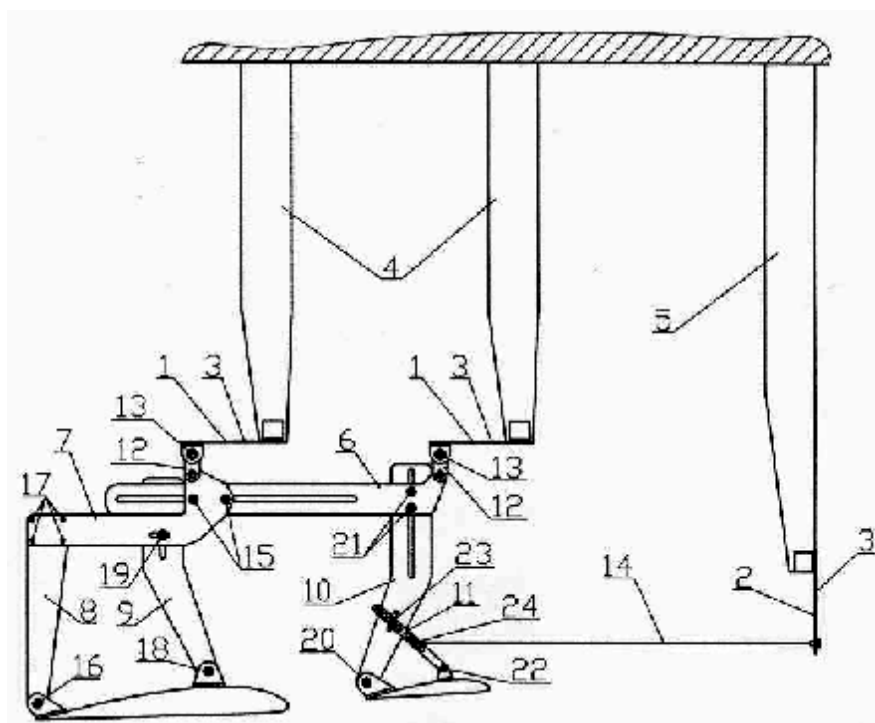


Рис. 3. Устройство для измерения составляющих векторов аэродинамической силы и момента

новное крыло) выполнен так, чтобы обеспечивалось следующее условие:

$$(L_{\text{рч}} - l_{\text{нп}}) / 2 < l_{\text{нп}}, \quad (1)$$

где $L_{\text{рч}}$ – ширина рабочей части АДГ; $l_{\text{нп}}$ – размах НП.

Основные параметры модели приведены в табл. 1.

Для регистрации подъемной силы использовались 4 измерительных тензодатчика, соединенных последовательно с одним компенсационным и подключенных к одному каналу АЦП-ЦАП SigmaUSB 16/16 с синфазным типом выхода по полумостовой четырехпроводной схеме.

На первом этапе продувок рассматривались изолированные ПГО и основное крыло в зоне влияния экрана с целью проверки измерительного комплекса на адекватность показаний.

По результатам данного этапа исследований построены поляры основного крыла (в данной системе НП основное крыло и ПГО выполнены из одного профиля) для $\bar{h} = 0,5$ и $\bar{h} = 0,2$ (рис. 4). В качестве сравнения на рис. 4 отображена поляра для внеэкранного режима ($\lambda = 2$). На качественном уровне наблюдается некоторая размытость в различиях значений коэффициентов c_x и c_y для различных отстояний НП, что связано с различием удлинений исследуемой НП ($\lambda = 2$) и эталонной ($\lambda = 5$), однако общие тенденции изменения параметров налицо.

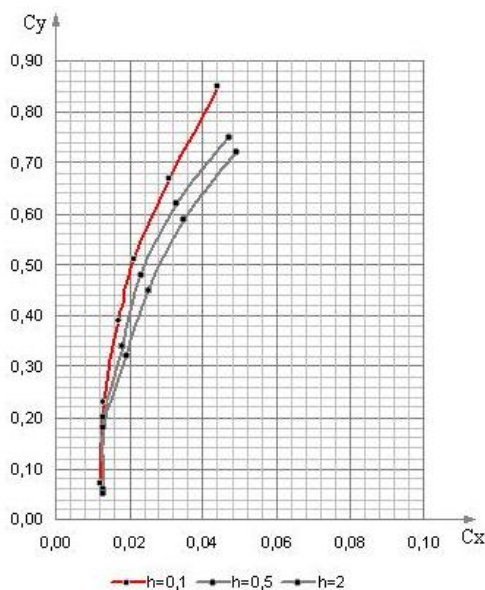


Рис. 4. Поляры НП при различных отстояниях от экрана

Таким образом, по результатам первого этапа исследований экспериментальный измерительный комплекс оценивается как дающий адекватные значения.

На втором этапе рассматривались несколько случаев взаимного расположения НП, которые по результатам теоретических исследований могут быть приняты как рациональные (контрольные точки на рис. 1 и 2). Таким образом, были рассмотрены расчетные случаи взаимного расположения НП с ожидаемыми максимумами аэродинамического качества согласно табл. 2.

Для того, чтобы подтвердить значения максимума в каждой из контрольных точек, необходимо выполнить ряд продувок с изменением какого-либо из варьируемых параметров, за исключением $\bar{h}_{\text{кр}}$. Для этого, в качестве варьируемого параметра был выбран параметр $\alpha_{\text{пго}}$: значение его для каждого расчетного случая изменялось от 1 до 6–7° (в зависимости от конкретного случая) равномерно с шагом в 1°. Таким образом, на втором этапе в общей сложности было выполнено 50 продувок, по результатам которых были составлены графики функциональных зависимостей (рис. 5) для каждого расчетного случая с параметрами согласно табл. 2.

На третьем этапе рассматривались такие случаи взаимного расположения НП, которые по результатам теоретических исследований заведомо нерациональны, единственно с целью получения поля данных, наиболее полно отражающих «картину» поведения потока внепрогнозируемых рациональных параметров их взаимного расположения (рис. 6).

Анализ полученных результатов второго этапа позволяет сделать вывод о степени влияния ПГО на основное крыло при различных установочных параметрах последнего. Так, обнаруживается существенное уменьшение положительной интерференции при увеличении межкрыльевого расстояния, что объясняется «рассеиванием» спутного следа за ПГО (увеличением толщины вихревой пелены) и сворачиванием вихревой пелены. При уменьшении же его картина взаимовлияния становится более «четкой» ввиду меньших отклонений потока и большего перепада давлений внутри и вне вихревой пелены. При увеличении $\alpha_{\text{кр}}$ возможная положительная интерференция существенно увеличивается ввиду возрастающего влияния безударного обтекания основного крыла.

Анализ полученных результатов третьего этапа позволяет сделать вывод о степени влияния ПГО на основное

Таблица 1

Основные параметры испытуемой модели системы НП

Параметр	Значение
Профиль основного крыла	Göttingen 434
Хорда основного крыла b , м	0,25
Удлинение основного крыла λ	2
Площадь основного крыла S , м ²	0,125
Стреловидность основного крыла χ , град	0
Сужение основного крыла n	1
Профиль ПГО	Göttingen 434
Хорда ПГО $b_{\text{пго}}$, м	0,125
Удлинение ПГО $\lambda_{\text{пго}}$	2,5
Площадь ПГО $S_{\text{пго}}$, м ²	0,04
Стреловидность ПГО $\chi_{\text{пго}}$, град	0
Сужение ПГО $n_{\text{пго}}$	1

крыло при различных параметрах их взаимного расположения. Так, при расположении основного крыла в ближнем следе за ПГО при определенных параметрах налицо отрицательная интерференция, вызванная затенением основного крыла ПГО. Данный эффект ярко выражен при меньших межкрыльевых расстояниях, при их увеличении отрицательная интерференция ослабевает. Из большинства графиков видно, что интерференция отрицательна, это отражает широко распространенное мнение, однако очевидно, что отрицательное явление наиболее существенно при «приведении» вихревой пелены под основное крыло в непосредственной близости и менее существенно при приведении вихревой пелены в надкрыльевую зону основного крыла. Положительная интерференция возможна тогда, когда несвернутая вихревая пелена с ПГО приведена в носок основного крыла. Здесь существенно уменьшается лобовое сопротивление основного крыла, притом, что его подъемная сила остается практически неизменной.

Результаты, полученные в ходе исследований, позволяют рассматривать возможность их использования как на этапе эскизного проектирования, так и на более ранних стадиях. При этом, полученные результаты дают возможность корректировки соотношений масс и размеров различных частей проектируемого аппарата с учетом улучшений свойств несущей системы и для его усиления, что, в свою очередь, сказывается на общих характеристиках проектируемого аппарата.

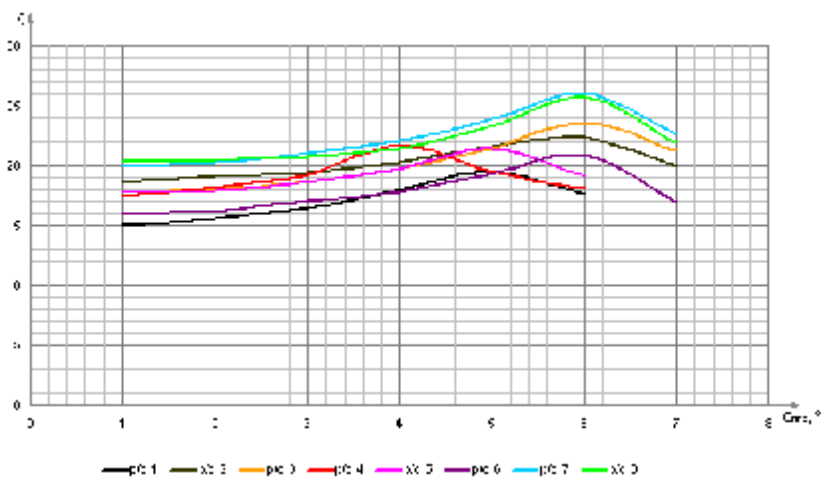


Рис. 5. Рациональные взаимные расположения НП

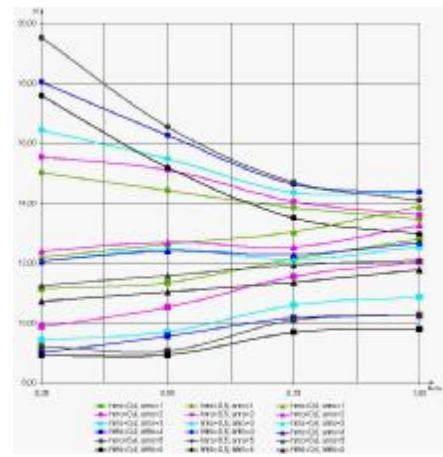


Рис. 6. Зависимость качества системы НП от расстояния между НП при различных положениях ПГО и фиксированном положении основного крыла $\bar{h}_{кр} = 0,2$ и $\alpha_{кр} = 1^\circ$

Таблица 2

Контрольные точки с ожидаемыми максимумами

№ п/с	$\alpha_{кр}$, град.	$\alpha_{пго}$, град.	$h_{кр}$, % $b_{кр}$	$h_{пго}$, % $b_{пго}$	L , % $b_{пго}$
1	1	5	20	51,5	25
2	2	6	20	56	20
3	3	6	20	60	12
4	1	4	10	21,8	20
5	1	5	10	22,2	25
6	1	6	10	23	35
7	2	6	10	26,4	23
8	3	6	10	33,8	15

В частности, в соответствии с проведенными исследованиями, при рациональном взаимном расположении НП отсутствует необходимость в фюзеляже большого удлинения (аппараты серии АДП), что, в свою очередь, уменьшает массу конструкции фюзеляжа. Кроме того, уменьшение длины фюзеляжа уменьшает и длину магистралей различных систем экраноплана, что уменьшает массу оборудования и управления [4].

Для дозвуковых экранопланов масса фюзеляжа определяется по формуле

$$m_{\phi} = (1 - 0,6^{-6} m_0) \times \left[\frac{0,014 \left(31 + (\lambda_{\phi} D_{\phi})^2 \right) \left(1 + 133 D_{\phi}^{3/2} m_0^{-1/2} \right)}{m_0^{1/2} \cos \chi} \right] + \frac{8 D_{\phi} + 10 D_{\phi}^2 \lambda_{\phi}}{m_0} + 0,018, \quad (2)$$

где m_0 – взлетная масса экраноплана; $\lambda_{\phi} = L_{\phi}/D_{\phi}$ – удлинение фюзеляжа; D_{ϕ} – диаметр фюзеляжа; L_{ϕ} – длина фюзеляжа; χ – угол стреловидности крыла по линии 1/4 хорд.

Определенное в ходе исследования рациональное взаимное расположение несущих поверхностей позволяет уменьшить λ_{ϕ} за счет меньшего расстояния между НП, что, в свою очередь, уменьшает m_{ϕ} . Также, ввиду того, что пропадает необходимость в фюзеляже большого удлинения, вполне целесообразно предположить пропор-

циональное уменьшение его профильного сопротивления. Кроме того, меньшее удлинение фюзеляжа позволяет разместить агрегаты и грузы ближе к центру тяжести (ЦТ) и определяет меньший диапазон центровок в зависимости от загрузки, а также, как следствие, меньшую потребную площадь управляющих поверхностей несущей системы. Однако стоит заметить, что речь идет не об уменьшении пассажирской или грузовой кабины, а об уменьшении подкапотных пространств и количества вынужденных «мертвых» отсеков фюзеляжа. Таким образом, массу конструкции фюзеляжа можно снизить на 10–15 % (3), что в свою очередь дает вероятность для увеличения полезной нагрузки на величину Δm_ϕ :

$$\Delta m_\phi = (1 - 0,6^{-6} m_0) \times \left[\frac{0,014 \left(31 + (\Delta \lambda_\phi D_\phi)^{3/2} \right) \left(1 + 133 D_\phi^{3/2} m_0^{-1/2} \right)}{m_0^{1/2} \cos \chi} \right] + \frac{8 D_\phi + 10 D_\phi^2 \Delta \lambda_\phi}{m_0} + 0,018, \quad (3)$$

где Δm_ϕ – изменение массы конструкции фюзеляжа; $\Delta \lambda_\phi$ – изменение удлинения фюзеляжа.

Однако, следует учесть, что чрезмерное уменьшение λ_ϕ на величину $\Delta \lambda_\phi > 0,6$ может вызвать определенные трудности в стабилизации аппарата в связи с изменяющейся центровкой, что может повлечь за собой возникновение колебательных процессов с большим временем затухания. В то же время, при изменившихся соотношениях подъемных сил НП и моментов, возможно вновь изменение центровки аппарата для получения удовлетворительных характеристик самостабилизации.

Кроме того, схема «утка» в мировой практике нередко рассматривается как составная часть гибридной схемы, что позволяет выносить проблемы устойчивости и стабилизации за пределы подобных исследований, т. к. расположение горизонтального оперения (ГО) позади основного крыла вне зоны влияния экрана есть одно из классических решений проблемы устойчивости ЛА.

Результаты исследования показывают, что в качестве рационального взаимного расположения НП возможно такое расположение, при котором крыло находится в ближнем следе за ПГО, где вихревая пелена еще не свернута таким образом, что C_x значительно уменьшается при относительном постоянстве C_y , и это приводит к увеличению аэродинамического качества до 20 %. Зафиксированный положительный эффект достигается за счет обеспечения межкрыльевого расстояния $L \leq b_{\text{про}}$ и незначительного разнесения НП по отстоянию от экрана в соответствии с [2].

Библиографические ссылки

1. Панченков А. Н., Драчев П. Т., Любимов В. И. Экспертиза экранопланов. Н. Новгород : Поволжье, 2006.
2. Аэродинамика летательных аппаратов / Г. А. Колесников [и др.]. М. : Машиностроение. 1993.
3. Бобарика И. О., Гусев И. Н. Выбор рационального взаимного расположения несущих поверхностей экраноплана схемы «утка» // Вестник СибГАУ. Вып. 1(22). 2009. В 2 ч. Ч. 1. С. 73–77.
4. Проектирование самолетов / А. А. Бадягин [и др.]. М. : Машиностроение, 1972.

I. O. Bobarika

DESIGNING WING IN GROUND EFFECT CRAFT OF THE «DUCK» SCHEME WITH THE ACCOUNT OF THE INTERFERENCE OF ITS BEARING SURFACES

Influence of a relative positioning of bearing surfaces of projected wing in ground effect craft to its characteristics is considered. Possible changes of aerodynamic characteristics, overall dimensions and weight parameters of the device are defined at a rational relative positioning of bearing surfaces with the account of their interference.

Keywords: wing in ground effect craft, interference, mutual influence, experiment.

© Бобарика И. О., 2010

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ ДВУХОБЪЕМНОГО ПНЕВМОАМОРТИЗАТОРА

Построена и исследована модель, описывающая рабочие процессы в двухобъемном пневмоамортизаторе и динамику амортизируемого объекта. Она позволяет провести анализ и выявить основные закономерности и особенности в работе как самих пневмоамортизаторов, так и управляемых клапанных устройств при различных режимах работы пневмоамортизатора.

Ключевые слова: режим работы пневмоамортизатора, кратковременная коммутация объемов, демпфирование колебаний.

Управляемые пневматические виброзащитные устройства могут наиболее полно удовлетворять требованиям систем амортизации (СА) различных амортизируемых объектов (АО), так как обеспечивают регулирование упруго-демпфирующей характеристики (УДХ) и хорошую виброзащиту [1]. В них в качестве рабочего тела используется лишь одна фаза – газ, благодаря чему нет необходимости выполнения отдельных демпфирующих устройств.

В работе предложено и исследовано устройство для демпфирования колебаний объектов – двухобъемный пневмоамортизатор (ПА), в котором демпфирование колебаний объекта осуществляется за счет перетекания массы газа из одного объема ПА в другой и обратно (рис. 1) [2]. Выбор режима работы ПА осуществляется системой управления клапаном ПА (рис. 2) [3]. В зависимости от конструкции клапанных устройств и их настройки ПА могут работать в различных режимах и иметь широкий диапазон упруго-демпфирующих характеристик. В связи с этим возникает необходимость выбора оптимальных режимов работы ПА с коммутацией объемов и описание их рабочих процессов через термодинамические параметры газа в объемах. При этом необходимо получить общие системы дифференциальных уравнений, включающие и уравнения динамики АО, решение которых позволило бы провести соответствующий анализ и выявить основные закономерности и особенности в работе, как самих ПА, так и клапанных устройств.

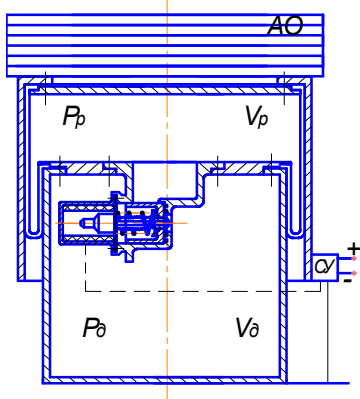


Рис. 1. Двухобъемный пневмоамортизатор

При работе ПА в его объемах периодически находится неодинаковое количество газа. Рабочий объем, как пра-

вило, изменяется во времени и вместе с тем изменяется состояние газа (давление, масса газа в объемах, температура), что приводит к изменению внутренней энергии. Так, например, при сжатии ПА затрачивается подводенная работа dL , в результате чего увеличивается внутренняя энергия dU , что вызывает повышение температуры. При повышении температуры некоторое количество тепла dQ вследствие непрерывного теплообмена передается к стенкам ПА и в окружающую среду, находящихся при более низкой температуре. Это явление незначительно влияет на колебательный процесс АО. На колебательный процесс АО также оказывают влияние силы трения в местах сопрягаемых деталей ПА (резинокордной оболочки и направляющих арматур), силы трения, возникающие вследствие деформации силового корда (каркаса) и в целом оболочки, силы трения в направляющих роликах, шарнирных элементах и т. д. Суммарная сила трения определяется, как правило, опытным путем, то есть при снятии рабочих характеристик ПА без какого-либо демпфирующего устройства и уточняется при свободных колебаниях АО. Экспериментальными исследованиями [4] было установлено, что суммарная сила трения в РКО приблизительно равна $0,01Mg$ (логарифмический декремент затухания $\delta = 0,75$).

Однако демпфирующая способность ПА за счет теплоотдачи через стенки в окружающую среду и диссипации энергии в РКО недостаточна для интенсивного демпфирования колебаний АО, и здесь требуется постановка специальных гасителей колебаний, обеспечивающих поглощение энергии 50–70 % и более.

При составлении уравнений процессов в ПА примем следующие допущения:

- рабочий газ в ПА подчиняется законам идеальных газов;
- вследствие кратковременности воздействия внешний теплообмен не учитывается и рабочий процесс в ПА считается адиабатическим;
- процессы выравнивания давления в объемах ПА при коммутации объемов происходят мгновенно;
- движение АО осуществляется в вертикальном направлении;
- эффективная площадь (S_c) ПА при движении АО не меняется;
- утечки газа из ПА отсутствуют.

Для определения термогазодинамических параметров в объемах ПА выделим следующие режимы работы ПА:

– первый режим: происходит процесс выравнивания давления в объемах ПА, при этом давление газа в дополнительном объеме P_q больше, чем давление газа в рабочем объеме P_p ; $P_q > P_p$, скорость вертикального перемещения $\dot{z}_0 = 0$, клапан открыт, происходит истечение газа из дополнительного объема в рабочий объем $V_q \rightarrow V_p$;

– второй режим: ПА в режиме сжатия, клапан закрыт $\dot{z}_0 < 0$; $P_p > P_q$;

– третий режим: происходит процесс выравнивания давления в объемах ПА, при этом $\dot{z}_0 = 0$, $P_p > P_q$, клапан открыт, происходит истечение газа из рабочего объема в дополнительный объем $V_p \rightarrow V_q$;

– четвертый режим: ПА в режиме отбоя, клапан закрыт $\dot{z}_0 > 0$, $P_p < P_q$.

Построим математическую модель динамики ПА при свободных колебаниях АО, при этом рассмотрим каждый режим работы ПА в отдельности.

При первом режиме в начале хода сжатия осуществляется процесс выравнивания давления в объемах ПА. Истечение газа происходит из дополнительного объема в рабочий объем.

Уравнение первого закона термодинамики данного режима для рабочего объема будет иметь вид

$$dU_p + dL_p = dQ_{\Delta m}, \quad (1)$$

где dL_p – элементарная работа, совершаемая над газом при сжатии ПА

$$dL_p = P_p dV_p; \quad (2)$$

dV_p – изменение рабочего объема при сжатии ПА; dU_p – изменение внутренней энергии в объемах ПА

$$dU_p = C_v T_p dm_p + C_v m_p dT_p; \quad (3)$$

C_v – удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме; T_p , dT_p – температура и изменение температуры воздуха в рабочем объеме; m_p , dm_p – масса воздуха и ее изменение в рабочем объеме ПА в текущий момент времени; $dQ_{\Delta m}$ – элементарное количество тепла, вынесенное текущим газом с массой $dm_{q \rightarrow p}$ из дополнительного объема в рабочий объем

$$dQ_{\Delta m} = C_p T_q dm_{q \rightarrow p};$$

$$T_q = \frac{P_q V_q}{R m_q}; \quad C_p = R \frac{k}{k-1}; \quad C_v = \frac{C_p}{k},$$

где C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; R – газовая постоянная; k – показатель адиабаты; m_q , dm_q – масса воздуха и ее изменение в дополнительном объеме ПА в текущий момент времени; T_q – температура воздуха в дополнительном объеме.

Тогда

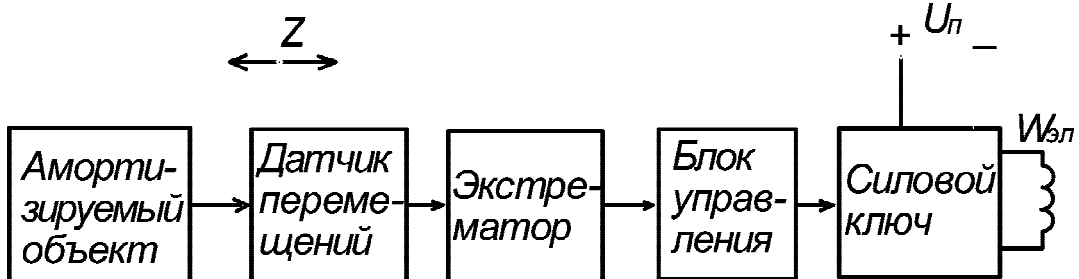


Рис. 2. Система управления импульсным клапаном

$$dQ_{\Delta m} = \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{P_q V_q}{m_q} dm_{q \rightarrow p}. \quad (4)$$

Из уравнения состояния газа определим dT_p :

$$dT_p = \frac{P_p dV_p + V_p dP_p - RT_p dm_{p \rightarrow q}}{R m_p},$$

где dP_p – изменение давления газа в рабочем объеме при сжатии ПА.

Подставив значения C_v и dT_p в уравнение (3) и преобразовав его, получим

$$dU_p = \frac{1}{k-1} (P_p dV_p + V_p dP_p). \quad (5)$$

Таким образом, используя полученные выражения (2), (4) и (5), уравнение (1) примет вид

$$\frac{dP_p}{dt} = -\frac{k P_p S_3 \dot{z}_0}{V_{p0} + S_3 z_0} + \frac{k P_q V_q}{V_p m_q} \frac{dm_{q \rightarrow p}}{dt}, \quad (6)$$

где S_3 – эффективная площадь ПА; P_{p0} , V_{p0} – давление газа в рабочем объеме ПА и его объем при статическом положении АО; z_0 , $\dot{z}_0$, $\ddot{z}_0$ – относительные перемещение, скорость и ускорение АО.

Уравнение первого закона термодинамики данного режима для дополнительного объема будет иметь вид

$$dU_q + dL_q = -dQ_{\Delta m}.$$

По аналогии

$$dU_q = \frac{1}{k-1} (P_q dV_q + V_q dP_q); \quad dL_q = P_q dV_q,$$

где $dV_q = 0$, так как $V_q = \text{const}$, следовательно

$$dU_q = \frac{1}{k-1} V_q dP_q; \quad dL_q = 0; \quad dQ_{\Delta m} = \frac{k}{k-1} \frac{P_q V_q}{m_q} dm_{q \rightarrow p}.$$

Таким образом, окончательное уравнение для дополнительного объема примет вид

$$\frac{dP_q}{dt} = -\frac{k P_q}{m_q} \frac{dm_{q \rightarrow p}}{dt}. \quad (7)$$

Из теории истечения газов [5; 6] расход газа через проходное сечение клапана при коммутации объемов выглядит следующим образом:

– при докритическом режиме, когда $\frac{P_q}{P_p} > 0,528$:

$$\frac{dm_{p \rightarrow q}}{dt} = \mu F_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_q m_q}{V_q} \left[\left(\frac{P_p}{P_q} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]};$$

– при критическом режиме, когда $\frac{P_q}{P_p} \leq 0,528$:

$$\frac{dm_{p \rightarrow q}}{dt} = \mu F_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_q m_q}{V_q} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}},$$

где $F_{\text{кл}}$ – площадь проходных сечений клапана; μ – коэффициент расхода газа через клапан

или

$$\frac{dm_{q \rightarrow p}}{dt} = \mu F_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_p m_p}{V_p} \left[\left(\frac{P_q}{P_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]};$$

$$\frac{dm_{q \rightarrow p}}{dt} = \mu F_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_p m_p}{V_p} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}. \quad (8)$$

Тогда, с учетом уравнений (6)–(8) система дифференциальных уравнений, описывающая первый режим работы ПА, будет иметь вид

$$\frac{dP_p}{dt} = -\frac{kP_p S_3 \dot{z}_0}{V_{p0} + S_3 z_0} + \frac{kP_q V_q}{V_p m_q} \frac{dm_{q \rightarrow p}}{dt};$$

$$\frac{dP_q}{dt} = -\frac{kP_q}{m_q} \frac{dm_{q \rightarrow p}}{dt};$$

$$\frac{dm_{q \rightarrow p}}{dt} = \mu F_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_p m_p}{V_p} \left[\left(\frac{P_q}{P_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}$$

при $\frac{P_q}{P_p} \geq 0,528$;

$$\frac{dm_{q \rightarrow p}}{dt} = \mu F_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_p m_p}{V_p} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}$$

при $\frac{P_q}{P_p} \leq 0,528$;

$$V_p = V_{p0} + S_3 Z_0 + V_q; \quad \dot{z}_0 = \frac{dz_0}{dt};$$

$$M\ddot{z} = (P_p - P_a)S_3 - M \cdot g - R_{\Sigma}(\text{sign } \dot{z}_0) - \ddot{z}_n(t). \quad (9)$$

$z_n, \dot{z}_n, \ddot{z}_n$ – абсолютные перемещения, скорость и ускорение основания ПА; M – масса амортизированного объекта; g – ускорение силы тяжести; R_{Σ} – сила трения, зависящая от скорости движения АО.

При втором режиме работы ПА клапан закрыт.

Система дифференциальных уравнений, описывающая второй режим работы ПА, имеет вид

$$\frac{dP_p}{dt} = -\frac{kP_p S_3 \dot{z}_0}{V_{p0} + S_3 z_0}; \quad \dot{z}_0 = \frac{dz_0}{dt};$$

$$M\ddot{z} = (P_p - P_a)S_3 - Mg - R_{\Sigma}(\text{sign } \dot{z}_0) - \ddot{z}_n(t), \quad (10)$$

где P_a – атмосферное давление.

При третьем режиме происходит процесс выравнивания давления в объемах ПА, при этом $\dot{z}_0 = 0, P_p > P_q$, клапан открыт, истечение газа происходит из $V_p \rightarrow V_q$.

Система дифференциальных уравнений, описывающая режим работы ПА, имеет вид

$$\frac{dP_p}{dt} = -\frac{kP_p S_3 \dot{z}_0}{V_{p0} + S_3 z_0} + \frac{kP_p}{m_p} \frac{dm_{p \rightarrow q}}{dt};$$

$$\frac{dP_q}{dt} = \frac{kP_p V_p}{m_p V_q} \frac{dm_{p \rightarrow q}}{dt};$$

$dm_{p \rightarrow q}$ – масса газа, перенесенная из рабочего объема в дополнительный объем, рассчитывается следующим образом:

$$\frac{dm_{p \rightarrow q}}{dt} = \mu F_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_p m_p}{V_p} \left[\left(\frac{P_p}{P_q} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}$$

при $\frac{P_q}{P_p} \geq 0,528$;

$$\frac{dm_{p \rightarrow q}}{dt} = \mu F_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_p m_p}{V_p} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}$$

при $\frac{P_q}{P_p} \leq 0,528$;

$$V_p = V_{p0} + S_3 Z_0 + V_q; \quad \dot{z}_0 = \frac{dz_0}{dt};$$

$$M\ddot{z} = (P_p - P_a)S_3 - Mg - R_{\Sigma}(\text{sign } \dot{z}_0) - \ddot{z}_n(t). \quad (11)$$

При четвертом режиме ПА находится в режиме отбоя, клапан закрыт $\dot{z}_0 > 0, P_p < P_q$:

$$\frac{dP_p}{dt} = -\frac{kP_p S_3 \dot{z}_0}{V_{p0} + S_3 z_0}; \quad \dot{z}_0 = \frac{dz_0}{dt};$$

$$M\ddot{z} = (P_p - P_a)S_3 - M \cdot g - R_{\Sigma}(\text{sign } \dot{z}_0) - \ddot{z}_n(t). \quad (12)$$

При дальнейшей работе ПА все термогазодинамические процессы в объемах ПА повторяются.

Исследования динамики ПА проводились для следующих исходных данных ПА и АО:

- масса АО равна $M = 75\,000$ кг;
- средний диаметр резинокордной оболочки $d_{\text{ср}} = 0,575$ м;
- эффективная площадь ПА $S_{\text{эф}} = \frac{\pi \cdot d - p^2}{4} = 0,26$ м²;
- температура в начале хода сжатия $T = 308$ °К;
- давление в рабочем объеме в статическом положении

$$P_{\text{ро}} = \frac{M \cdot 10}{S_{\text{эф}}} = 2,888 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

- суммарный объем ПА в статическом положении

$$V_o = 0,63 \text{ м}^3;$$

- дополнительный объем ПА в статическом положении

$$V_{qo} = \frac{V_o}{2} = 0,315 \text{ м}^3;$$

- рабочий объем ПА в статическом положении

$$V_{\text{ро}} = V_o - V_{qo} = 0,315 \text{ м}^3;$$

- суммарная масса газа в рабочем и дополнительном объемах ПА в статическом положении

$$m_{\text{сум}} = \frac{P_{\text{ро}} \cdot V_o}{R \cdot T \cdot 10} = 2,058 \text{ кг};$$

- в исходном положении ПА поднят на высоту

$$Z_o = 0,365 \text{ м};$$

- рабочий объем ПА в исходном положении

$$V_p = V_{\text{ро}} + Z \cdot S_{\text{эф}} = 0,41 \text{ м}^3;$$

- давление в рабочем объеме в исходном положении

$$P_p = \frac{P_{\text{ро}} \cdot V_o}{V_p + V_q} = 2,511 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

- давление в дополнительном объеме в исходном положении

$$P_d = P_p = 2,511 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

- масса газа в рабочем объеме в исходном положении

$$m_p = \frac{m_{\text{сум}} \cdot V_p}{V_p + V_q} = 1,164 \text{ кг};$$

- масса газа в дополнительном объеме в исходном положении $m_q = m_{\text{сум}} - m_p = 0,895$ кг;
- начальная скорость $v_0(Z_0) = 0$ м/с;
- прочие параметры $R = 287$ Дж/(кг · °К); $\mu = 0,7$; $k = 1,41$.

Расчет динамики проводился, начиная с исходного положения АО (рис. 3, уровень «1»), свободные колебания АО затухали около статического положения АО (рис. 3, уровень «0»). По результатам расчета динамики ПА с электроклапаном построены графики свободных колебаний различных параметров АО (рис. 4–6). На графиках параметр $\beta^* = \frac{V_q}{V_{po}}$ – отношение объемов ПА при статическом положении АО ($\beta^* = 1 \div 3$).

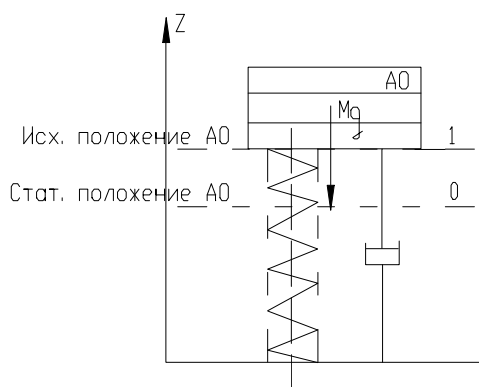


Рис. 3. Расчетная схема динамики ПА

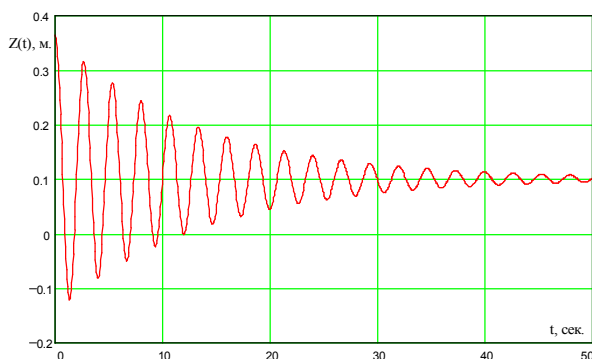


Рис. 4. График изменения координаты $Z(t)$ при отключенном электроклапане

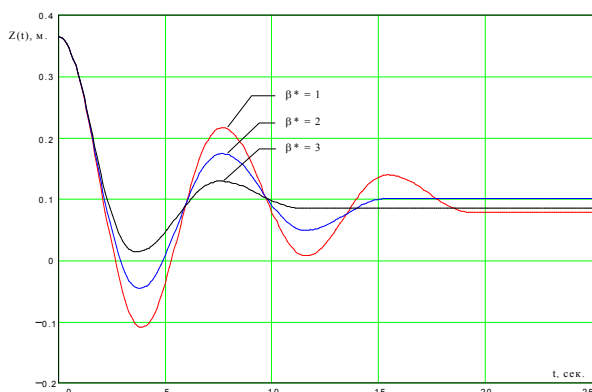


Рис. 5. График изменения координаты $Z(t)$

Проведенные теоретические исследования (см. рис. 4, 5) показали, что ПА обеспечивает интенсивное демпфиро-

вание свободных колебаний. Кривые свободных колебаний позволили также установить, что при демпфировании при включении электроклапана при работе ПА время затухания колебаний АО снизилось (с 40 с при отключенном электроклапане до 10...15 с при включенном электроклапане при различных значениях параметра β^*), наибольшее демпфирование ПА имеет за первый период колебаний. Также демпфирование колебаний возрастает с увеличением значения параметра β^* .

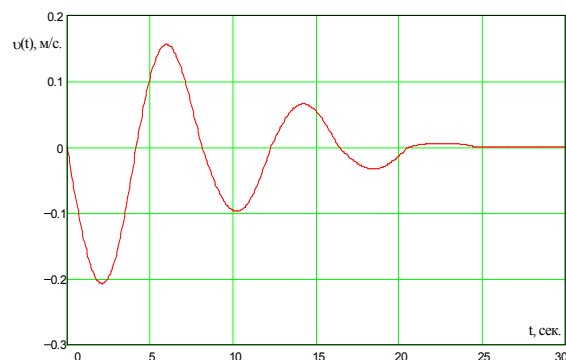


Рис. 6. График изменения скорости $v(t)$ (при $\beta^* = 1$) при различных значениях параметра β^*

По результатам теоретических исследований строится УДХ ПА (рис. 7). Поглощенная энергия колебаний АО за один цикл отражается площадью петли гистерезиса на УДХ. За счет выбираемого алгоритма работы системы управления клапана можно получить петлю гистерезиса с ее различным расположением относительно статической характеристики ПА (рис. 7, а (кривая а–б) или рис. 7, б (кривая а–с)).

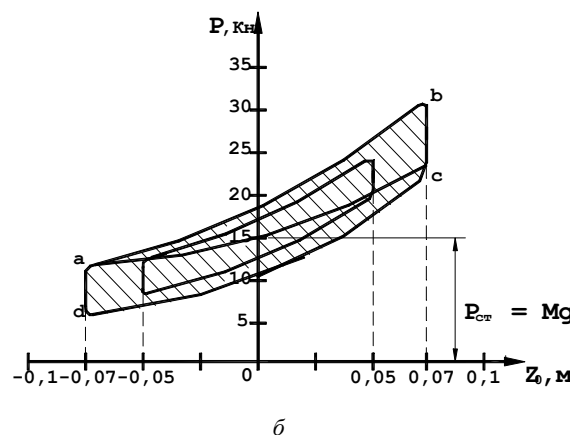
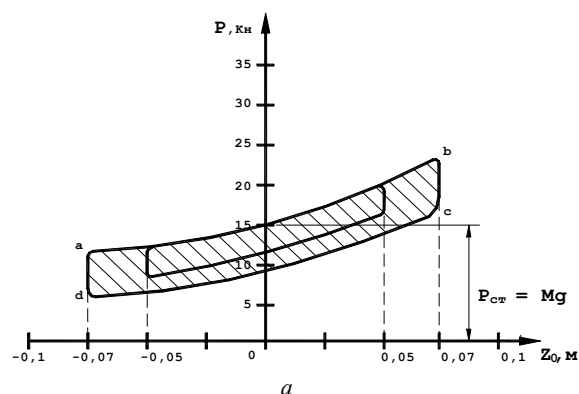


Рис. 7. Упругодемпфирующая характеристика ПА

Таким образом, предложенный управляемый двухобъемный ПА с электроклапаном в перегородке обеспечивает резкое улучшение демпфирующих свойств колебательной системы, регулирование упругодемпфирующих характеристик и одновременно хорошую виброударозащиту различных объектов, в том числе крупногабаритных объектов, транспортных средств, технологического оборудования. Полученная модель, описывающая рабочие процессы ПА и динамику АО, позволяет провести анализ и выявить основные закономерности работы ПА.

Библиографические ссылки

1. Аверьянов Г. С., Зензин Ю. А., Белицкий В. Д. Рабочий цикл пневматического амортизатора с активным управлением термодинамическими параметрами газа //

Динамика машин и рабочих процессов : межвуз. сб. науч. тр. Челябинск, 1985. С. 144–149.

2. Патент на изобретение № 2325285 Российская Федерация, М.Кл. F 16 F 9/04, В 60 G 11/26. Пневматическая подвеска / Аверьянов Г. С., Хамитов Р. Н. Опубл. 27.05.2008, Бюл. № 15.

3. Хамитов Р. Н. Синтез системы управления импульсным электродинамическим клапаном пневмоамортизатора // Справочник. Инженерный журнал. 2008. № 2. С. 62–64.

4. Новоженин А. А., Фитилев Б. Н. Экспериментальные исследования постоянной демпфирования ПА с РКО // Динамика систем : межвуз. сб. науч. тр. Омск, 1975. Вып. 2. С. 71–75.

5. Дмитриев Г. Д., Градецкий В. Г. Основы пневматики. М. : Машиностроение, 1973.

6. Ястржембский А. С. Техническая термодинамика. М. : ГЭИ, 1960.

R. N. Khamitov

CONTROL SYSTEM AND PROCESSES OF TWO-VOLUME PNEUMOSHOCK-ABSORBER

The model describing working processes in the two-volume pneumoshock-absorber and dynamics of the damped object is constructed and investigated. The model allows to carry out the analysis and to reveal the basic laws and features in work, both pneumoshock-absorbers, and operated valves at various operating modes of the pneumoshock-absorber.

Keywords: pneumoshock-absorber operating mode, short-term switching of volumes, damping of fluctuations.

© Хамитов Р. Н., 2010

УДК 629.735.064

А. А. Прейс

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

Выполнены сравнительные исследования расчетных значений показателей надежности систем самолетов. Показано, что традиционная методика расчета неадекватно оценивает изменения надежности по наработке. Использование методики расчета вероятности отказа через 1 час полета по альтернативной методике устраняет отмеченное несоответствие, свойственное традиционной методике.

Ключевые слова: традиционная методика, альтернативная методика, системы самолетов, государственная авиация.

Проектирование авиационной техники с высокой степенью надежности является одной из основных проблем современности. Эта проблема имеет особенное значение, так как надежность напрямую связана с безопасностью полетов, материальными затратами и эффективностью ее использования. В то же время повышение эффективности самолетов как гражданской, так и государственной авиации, за счет роста интенсивности использования и снижения затрат на эксплуатацию, в последние годы обеспечивалось значительным усложнением конструкции функциональных систем и бортового оборудования.

Усложнение самолета можно наглядно проследить на примере роста количества и элементов электронной аппаратуры бомбардировщиков фирмы Боинг. Если на самолетах В-17 и В-29 применялось оборудование, состоящее из 1 000–2 000 элементов, то на самолете В-58 количество элементов возросло до 95 000, а на сверхзвуковом стратегическом бомбардировщике В-70 использовалось оборудование, насчитывающее 150 000 элементов [1; 2].

По данным периодических изданий, следствием усложнения основных компонентов и систем явилось снижение эксплуатационных характеристик новых боевых

авиационных комплексов и, в первую очередь, их надежности.

Актуальность проблемы надежности демонстрирует пример эксплуатации самолетов Су-7, серийный выпуск которых был начат в 1959 г. После начала серийного производства и эксплуатации в строю выявились сложнейшие проблемы, связанные с низким уровнем безотказности, эксплуатационной технологичности, безопасности и живучести новых самолетов Су-7.

В начале эксплуатации трудозатраты на обслуживание Су-7 составляли 83 чел. ч на один час полета (для сравнения: для самолета такого же класса, они были в два раза меньше). Со временем, по мере накопления опыта эксплуатации и постоянных доработок самолета, время на подготовку самолета к вылету снизили до 48 чел. ч на один час полета. За первые 5 лет эксплуатации самолета типа Су-7 с 1959 по 1963 гг. произошло 13 катастроф и 15 аварий, из которых по причине КПП – 82,6 %, по вине личного состава – 10,7 % и другие причины составляют 7,14 %. Налет на одно летное происшествие по КПП в 1960 г. составлял 550 часов, а в 1963 г. – 1898 часов. К 1965 г. в основном за счет постоянных доработок и усовершенствования самолета и двигателя, эту цифру удалось довести до 4 200 часов. В немалой степени, снижению аварийности по КПП способствовали и изменения, внедренные при изготовлении СУ-7 на заводе. Постепенно, улучшив технологию сборки и ужесточив контроль, удалось повысить качество монтажа, что сразу сказалось на надежности машины.

В 1966 г. список замечаний по самолетам типа СУ-7 включал 64 серьезных дефекта, требующих немедленно устранения. Впрочем, для самолетов фронтовой авиации это было далеко не самым плохим показателем. У МиГ-21 в то время имели место 80 «крупных дефектов», включая самопроизвольное выключение двигателей в полете, частые пожары аккумуляторов, а у бомбардировщиков Як-28 – 145 дефектов, из-за чего самолеты в частях не летали по несколько месяцев [3].

Известно, что надежность долгое время была чисто качественным, не поддающимся контролю параметром технических устройств. В процессе создания новых образцов техники проводились отдельные мероприятия по повышению их надежности. При проектировании решались отдельные частные задачи обеспечения надежности (подбор деталей, материалов, режимов работы и т. д.), но зачастую это делалось эмпирически, всестороннего изучения и обеспечения надежности на научной основе не проводилось. Не были разработаны количественные критерии оценки надежности.

Однако, эта проблема с развитием и усложнением техники, в том числе и авиационной, стала настолько серьезной, что ученые и конструкторы начали уделять ей все больше и больше внимания. Сначала были разработаны количественные критерии надежности, затем появились методы расчета надежности и ее оценки в процессе испытаний и эксплуатации.

В рамках данной статьи рассмотрены методики расчета надежности агрегатов и функциональных систем воздушных судов.

В настоящее время в традиционно сложившейся системе оценок надежности авиационной техники исполь-

зуются косвенные показатели надежности. В гражданской авиации к таким показателям относят среднюю наработку на отказ, количество отказов на 1 000 часов налета (K_{1000}), налет на отказ, приводящий к авиационным событиям (инцидент, серьезный авиационный инцидент, авиационное происшествие). Надежность авиационной техники в государственной авиации оценивается следующими показателями: средний налет на неисправность, обнаруженную в полете и приведшую к невыполнению полетного задания ($T_{нз}$); средний налет на неисправность, обнаруженную в полете (T_n); средний налет на неисправность (отказ и повреждение) (T_c) [4].

Показатели надежности самолетов задаются государственными требованиями не в косвенных, а в прямых показателях, которые установлены НЛГС. В НЛГС требования к надежности определены в виде допустимых значений вероятностей отказов систем на 1 час полета, приводящих к возникновению в полете особых ситуаций, классифицирующихся как сложная, аварийная, катастрофическая ситуация. Так, вероятность возникновения катастрофической ситуации определена для самолета в целом более чем $1 \cdot 10^{-9}$ на 1 час полета. Вероятность возникновения аварийной ситуации определена с частотой возникновения $1 \cdot 10^{-6}$ на 1 час полета, и вероятность возникновения сложной ситуации – с частотой возникновения $1 \cdot 10^{-4}$ на 1 час полета.

При расчете надежности функциональных систем и оборудования самолетов, определяются вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказа $Q(t)$ в функции от налета. При этом нормируемая вероятность отказа на 1 час полета при рассматриваемом интервале времени, согласно принятым в теории надежности методам, определяется следующим образом:

$$Q_c(t) = \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t}. \quad (1)$$

Как показано в [5; 6; 7] приведение интегральных функций вероятности отказов систем самолетов к 1 часу полета часто дает результаты, противоречащие здравому смыслу и практике эксплуатации авиационной техники.

Чтобы проиллюстрировать выше сказанное несоответствие был произведен расчет надежности по традиционной методике для системы электроснабжения переменного тока, гидравлической системы, основных опор шасси и створок. Расчетные выражения для интегральных функций вероятности отказа агрегатов приняты в форме распределения равномерной плотности:

$$Q_i(t) = \omega_i \cdot t, \quad (2)$$

где ω_i – параметры потоков отказов агрегатов систем. Значения вероятности отказа на один час полета рассчитывались по формуле (1).

Система электроснабжения переменного трехфазного тока постоянной частоты предназначена для питания потребителей электроэнергии частотой 400 Гц и номинальным напряжением 115/200 В (рис. 1).

При работе каналов основным источником электроэнергии переменного тока являются два генератора, установленные по одному на каждом двигателе. Система выполнена так, что при нормальной работе каждый канал питает свои шины, и следовательно, свою группу

потребителей, подключенных к этим шинам. При этом, в системе предусмотрена возможность взаимного резервирования (резервирование параллельное и постоянное) каждого из каналов.

Поскольку в системе отказывают только генераторы, то схему, представленную на рис. 1 можно упростить до структурной схемы, изображенной на рис. 2.

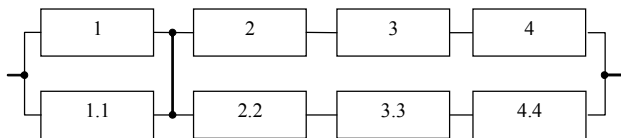


Рис. 1. Структурная схема системы электроснабжения переменного трехфазного тока постоянной частоты: 1, 1.1 – генератор переменного тока; 2, 2.1 – блок регулирования; 3, 3.1 – блок защиты и управления; 4, 4.1 – блок трансформаторов

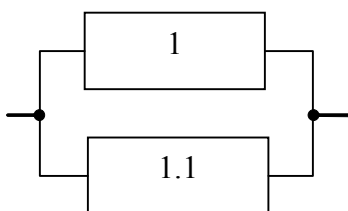


Рис. 2. Упрощенная структурная схема системы электроснабжения переменного трехфазного тока постоянной частоты: 1, 1.1 – генератор переменного тока

Параметр потока отказов $\omega_i(t)$ [5] для агрегатов системы энергоснабжения рассчитывается по выражению

$$\omega_i(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (3)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказов в интервале налета $\Delta(t)$; N – число объектов, находящихся под наблюдением (в эксплуатации); Δt – интервал налета.

Параметр потока отказов для генераторов переменного тока, расположенных на левом двигателе, равен $\omega_{лев}(t) = 0,0000217 = 2,17 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, для генераторов, расположенных на правом двигателе, параметр потока отказа имеет вид $\omega_{прав}(t) = 0,00009 = 9,0 \cdot 10^{-5}$ 1/ч. Вероятность отказа системы $Q_c(t)$ рассчитывается через произведение вероятностей отказов составляющих элементов $q_{лев}(t)$, $q_{прав}(t)$ по выражению

$$Q_c(t) = \prod_{i=1}^N q_i. \quad (4)$$

Рассчитанные значения вероятностей отказов системы электроснабжения переменного трехфазного тока постоянной частоты $Q_c(t)$ от наработки и вероятность отказа системы на 1 час полета $Q_c(t)$ представлены на рис. 3, 4.

Основные опоры шасси предназначены для поглощения удара при посадке самолета, а также для обеспечения разбега, пробега и руления по взлетно-посадочной полосе. При убранном шасси боковые отсеки основных опор закрываются каждый двумя створками – передней и задней. Передняя часть каждого бокового отсека закрывается тормозным щитком, выполняющим в убранном положении роль створки.

Структурная схема основных опор шасси и створок представлена на рис. 5.

Исходя из того, что из числа агрегатов, которые входят в состав основных опор шасси и створок, отказы и повреждения были зафиксированы только на трех, то можно упростить структурную схему основных опор шасси и створок (рис. 6).

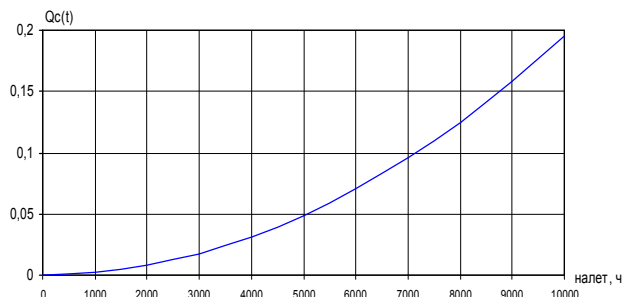


Рис. 3. Вероятность отказа системы электроснабжения переменного тока от налета

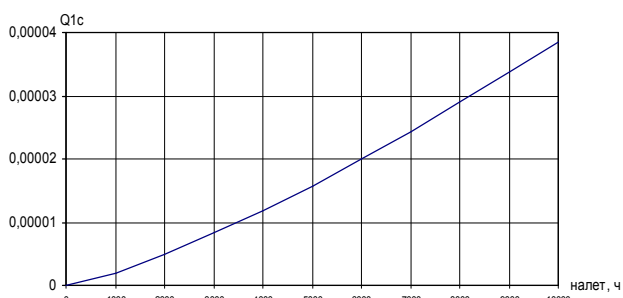


Рис. 4. Вероятность отказа системы электроснабжения переменного тока на 1 час полета

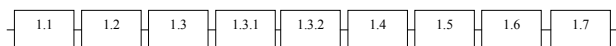


Рис. 5. Структурная схема основных опор шасси и створок: 1.1 – стойки цилиндра; 1.2 – подкос; 1.3 – тележка; 1.3.1 – амортизатор основного; 1.3.2 – амортизатор пяточного; 1.4 – механизм разворота тележки; 1.5 – створки (передней и задней); 1.6 – сигнализатор начала уборки шасси; 1.7 – механизм сигнализации необжатого положения основной опоры шасси

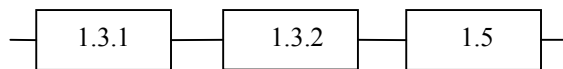


Рис. 6. Упрощенная структурная схема основных опор шасси и створок: 1.3.1 – амортизатор основного; 1.3.2 – амортизатор пяточного; 1.5 – створки (передней и задней)

Параметр потока отказов $\omega_i(t)$ для агрегатов основных опор шасси и створок рассчитывается по выражению (3). Параметр потока для амортизатора основного имеет вид $\omega_1(t) = 0,0000217 = 2,17 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, для амортизатора пяточного $\omega_2(t) = 0,0000217 = 2,17 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, для створок параметр потока отказа $\omega_3(t) = 0,000141 = 1,4 \cdot 10^{-4}$ 1/ч. Так как агрегаты в схеме основных опор шасси и створок расположены последовательно, то вероятность отказа $Q_c(t)$ находится следующим образом:

$$Q_c(t) = 1 - P_c, \quad (5)$$

где P_c – вероятность безотказной работы системы, которая рассчитывается по выражению

$$P_c = \prod_{i=1}^N p_i, \quad (6)$$

где p_i – вероятность безотказной работы агрегатов, входящих в систему.

Рассчитанные значения вероятностей отказов основных опор шасси и створок $Q_c(t)$ от количества посадок и вероятность отказа на 1 посадку Q_{1c} представлены на рис. 7, 8.

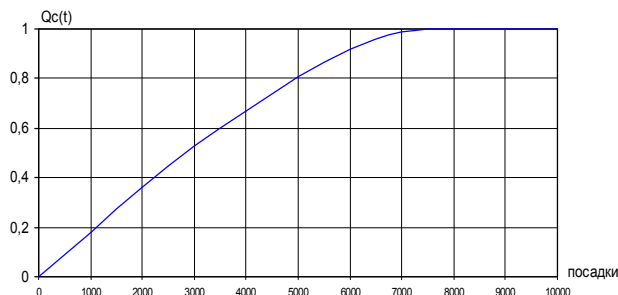


Рис. 7. Вероятность отказа основных опор шасси и створок от количества посадок

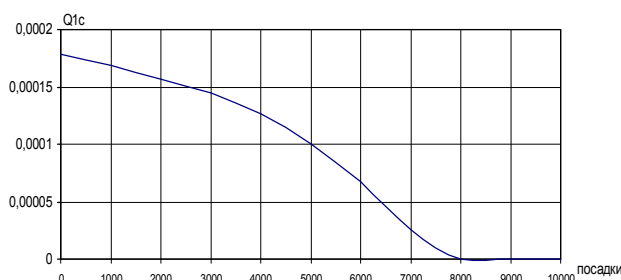


Рис. 8. Вероятность отказа основных опор шасси и створок на 1 посадку

Уменьшение вероятности отказа на 1 посадку в функции наработки (числа посадок) неадекватно отражает деградационные процессы, развивающиеся по мере увеличения наработки. Это ставит под сомнение адекватность традиционной методики расчета надежности и подтверждает выводы, сделанные в работах [5; 6].

Гидравлическая система обеспечивает питание гидроприводов самолета гидравлической энергией. Предусмотрено дублирование подачи гидравлической энергии на наиболее важные органы самолета – гидроусилители системы управления. По функциональному назначению гидросистема подразделяется на общую и бустерную. Общая гидросистема обеспечивает:

- питание одной из камер гидроусилителей систем управления самолетом;
- управление цилиндром системы ограничения хода ручки управления самолетом;
- уборку и выпуск шасси;
- управление тормозными щитками;
- уборку и выпуск заправочной штанги;
- включение цилиндра повышенной загрузки педалей;
- управление механизацией крыла;
- управление рулежным устройством передней опоры шасси;
- основное торможение колес шасси;
- аварийное торможение колес шасси;

- управление клиньями воздухозаборников и нижними обечайками;
- выпуск и уборку оптико-механического блока.

Бустерная гидросистема предназначена для обеспечения питания вторых камер гидроусилителей и цилиндра ограничения хода РУС системы управления самолета, т. е. дублирования общей гидросистемы в этих агрегатах.

Каждую гидросистему обслуживает по два насоса НП-96АМ, один из них расположен на правом двигателе, другой на левом, что повышает эксплуатационную надежность гидросистем. По конструктивному исполнению общая гидросистема идентична бустерной. Структурная схема гидросистемы представлена на рис. 9.

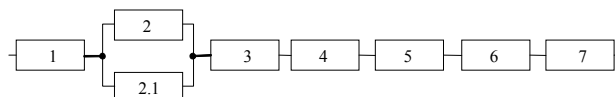


Рис. 9. Структурная схема гидросистемы: 1 – гидробак; 2, 2.1 – насосы плунжерные; 3 – фильтр линии нагнетания; 4 – предохранительный клапан; 5 – гидроаккумулятор; 6 – трубопровод; 7 – фторопластовые рукава

Исходя из того, что из числа агрегатов, которые входят в состав гидравлической системы, отказы были зафиксированы только на трех, можно упростить структурную схему гидросистемы (рис. 10).

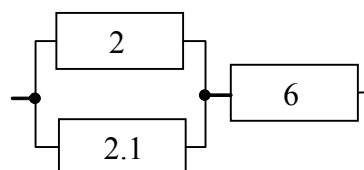


Рис. 10. Упрощенная структурная схема гидросистемы: 2, 2.1 – насосы плунжерные; 6 – трубопровод

Параметр потока отказов $\omega_i(t)$ для агрегатов гидравлической системы рассчитывается по выражению (3). Параметр потока отказов для гидронасоса, расположенного на правом двигателе, имеет вид $\omega_1(t) = 0,0000178 = 1,78 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, для гидронасоса, расположенного на левом двигателе, $\omega_2(t) = 0,0000357 = 3,57 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, для трубопроводов параметр потока отказа $\omega_3(t) = 0,000107 = 1,07 \cdot 10^{-4}$ 1/ч.

Зависимости вероятности отказа гидравлической системы от налета и на 1 час полета представлены на рис. 11, 12.

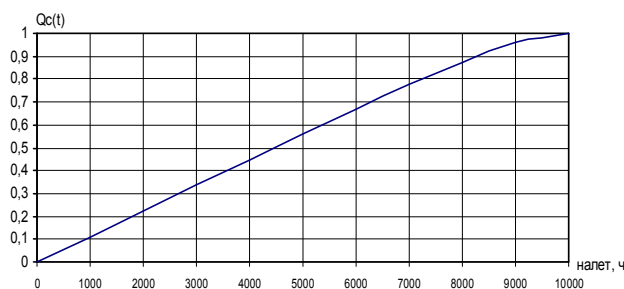


Рис. 11. Вероятность отказа общей гидросистемы от налета

Характер изменения вероятностей отказа систем самолета от налета, представленных на рис. 3, 7, 11 не вызывает сомнения, а вероятность отказа приближается к 1 с

увеличением налета. Это не вызывает сомнения до тех пор, пока не определяется вероятность отказа на 1 час полета. Уменьшение вероятности отказа рассчитанных систем на единицу времени (1 час полета) с увеличением времени (рис. 4, 8, 12), и тем более ее стремление к нулю, не согласуется с положением, что в процессе эксплуатации, как агрегатов, так и систем в целом, параметр потока отказов остается постоянным $\omega_i = \text{const}$, т. е. число отказов агрегатов и систем в единицу времени не зависит от наработки. Следовательно, логичней было ожидать и независимость от времени вероятности отказа системы на 1 час полета.

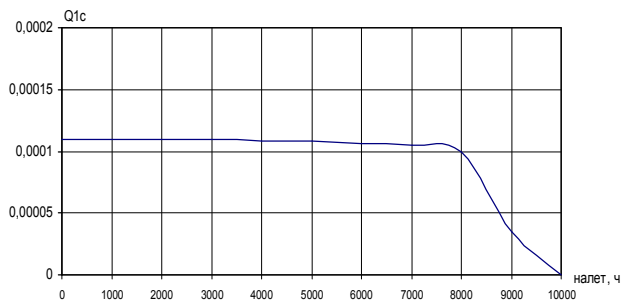


Рис. 12. Вероятность отказа общей гидросистемы на 1 час полета

В целях устранения указанного несоответствия, в работе [6] предлагается альтернативный методологический подход к расчету надежности системы на 1 час полета. При альтернативном подходе, в качестве первоочередной задачи, решается задача расчета вероятности отказа системы на 1 час полета, а интегральная функция распределения вероятности отказа находится как результат ее интегрирования.

Поскольку параметры потока отказов агрегатов постоянные, в соответствии с предложенным альтернативным подходом, интегральные функции распределения вероятности отказа агрегатов представляются в виде распределения равномерной плотности вероятности. При этом вероятность отказа агрегата на 1 час полета числен-

но равна параметру отказов. Тогда вероятность отказа на 1 час полета для рассматриваемых систем составит:

- для системы электроснабжения переменным током $2 \cdot 10^{-9}$;
- основных опор шасси и створок $1,84 \cdot 10^{-4}$;
- общей гидросистемы $2,17 \cdot 10^{-4}$.

Поскольку вероятности отказа на 1 час не зависят от времени, интегральные функции вероятности отказа являются линейными функциями времени. Так интегральная функция вероятности отказа для системы электроснабжения переменным током примет вид

$$Q_e(t) = 2 \cdot 10^{-9} \cdot t.$$

В целом для сложных систем с резервированием альтернативная методика оценивает их как более безотказные.

Библиографические ссылки

1. Анцелиович Л. Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета. М. : Машиностроение, 1985.
2. Соломонов П. А. Вопросы надежности авиационной техники. М. : Воен. изд-во Мин-ва обороны СССР, 1965.
3. Авиация и космонавтика. 2006. № 4–7, 9–11.
4. Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации (ФАПИАО). М., 2005.
5. Бойко О. Г. Правомерность использования интегральных функций распределения случайных величин в расчетах надежности функциональных систем // Вестник СибГАУ. Вып. 4(21). Красноярск, 2008. С. 104–120.
6. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Методологические особенности расчета схемной надежности функциональных систем самолетов гражданской авиации // Вестник СибГАУ. Вып. 4(17). Красноярск, 2007. С. 120–125.
7. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Математическая модель и методы расчета надежности сложных систем // Вопросы современной науки и практики : журн. № 8(22). 2009. Тамбов : Ун-т им. В. И. Вернадского. С. 64–72.

A. A. Preis

THE STATE AVIATION AIRPLANES FUNCTIONAL SYSTEMS RELIABILITY CALCULATION METHODS COMPARISON

The comparative researches of calculation values of reliability indexes of airplanes systems has been carried out. The work shows that the traditional calculation method doesn't estimate adequately the reliability changes considering the operating time. Using of the breakdown probability calculation method in one hour of flight with a help of alternative method eliminates the marked irrelevance which is peculiar to traditional method.

Keywords: traditional method, alternative method, airplanes systems, state aviation.

©Пре́йс А. А., 2010

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ, РИСКА КАТАСТРОФ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ОТ МАССЫ КОНСТРУКЦИИ САМОЛЕТА

Выполнен анализ условий обеспечения прочности, надежности и эффективности перевозок самолетов гражданской авиации.

Ключевые слова: прочность, полетная масса самолета, масса пустого самолета, масса полезного груза, эффективность, риск катастроф.

Одной из основных характеристик совершенства конструкции самолетов гражданской авиации является отношение массы конструкции к числу пассажирских мест, т. е. масса конструкции самолета, приходящаяся на одно пассажирское место. Чем меньше этот показатель, тем выше экономическая эффективность самолета. С другой стороны, уменьшение массы конструкции сопряжено с уменьшением ее прочности, а, следовательно, с увеличением риска катастроф. В предлагаемой работе сделана попытка анализа условий и ограничений в пределах, которых решается задача минимизации массы конструкции самолета.

Максимальная взлетная масса самолета $M_{\max}$ может быть представлена состоящей из массы полезного груза $M_{п.г.}$ (пассажиры и грузы), массы топлива $M_{т.}$ и массы конструкции самолета $M_{к.}$. Например, для самолета Ту-204 составляющие взлетной массы следующие:

$$M_{\max} = 107,9 \text{ т}; M_{п.г.} = 25,2 \text{ т}; M_{т.} = 32,7 \text{ т}; M_{к.} = 50 \text{ т}.$$

При фиксированных $M_{т.}$ и $M_{\max}$ изменение возможно только за счет массы конструкции и массы полезного груза.

Прочность конструкции самолета и способность противостоять полетным нагрузкам без разрушения определяется площадью сечения его силовых элементов. При неизменных материалах конструкции прочность прямо пропорциональна массе конструкции. Прочность определяет риск разрушения, т. е. риск катастроф, и однозначно связана с массой полезного груза. Для самолета Ту-204 эта связь определяется следующим образом:

$$M_{п.г.} = M_{\max} - M_{т.} - M_{к.} = 75,2 - M_{к.}$$

Ставится задача определения связи массы конструкции с вероятностью ее разрушения, т. е. с вероятностью реализации катастрофы.

Масса самолета Ту-204, равная 50 т, определена из условия ее способности противостоять без разрушения воздействию двукратной перегрузки n , при максимальной массе с коэффициентом запаса прочности $k = 1,5$. При этом, вероятность разрушения, в соответствии с нормами летной годности (НЛГ) самолетов, должна быть $\leq 1 \cdot 10^{-9}$ [1].

Если величину массы конструкции самолета $M_{к.}$ разделить на величину перегрузки $n = 2$ и величину запаса прочности $k = 1,5$, то при $M_{к.} = 16,6 \text{ т}$, самолет с максимальной взлетной массой разрушится с вероятностью $Q = 1$.

Рассмотренные условия определяют две точки функциональной зависимости вероятности разрушения $Q = f(M_{к.})$ от массы конструкции. Очевидно, что при

$M_{к.} > 50 \text{ т}$ вероятность разрушения сохраняется, хотя и становится меньше, чем $1 \cdot 10^{-9}$. Допустимо предположить, что вероятность разрушения будет асимптотически стремиться к нулю по мере увеличения массы конструкции. Это предположение может быть реализовано при экспоненциальной зависимости $Q = f(M_{к.})$.

Тогда, с учетом отмеченных выше условий, найдем экспоненциальную зависимость для вероятности разрушения конструкции самолета Ту-204:

$$Q = \exp 0,6138 (16,6 - M_{к.})$$

По этому выражению рассчитаны значения вероятности разрушения массы конструкции и массы полезного груза (табл. 1).

Построение графической зависимости $Q = f(M_{к.})$ в диапазоне ее изменения от 1 до $5,82 \cdot 10^{-15}$, поэтому зависимость $\ln Q = f(M_{п.г.})$ приведена на рис. 1.

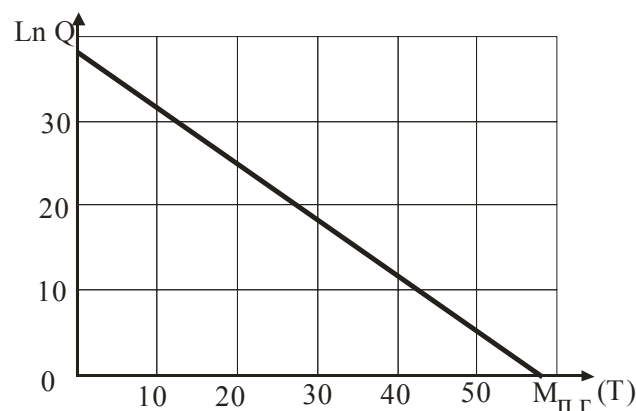


Рис. 1. Зависимость вероятности разрушения самолета от массы полезного груза $Q = e^{0,6138(16,6 - M_{к.})}$

Во всем рассмотренном диапазоне увеличения массы конструкции, вероятность ее разрушения непрерывно уменьшается (см. табл. 1 и рис. 1). Наглядное представление о характере кривой $Q = f(M_{к.})$ на начальном и конечном участках рассмотренного диапазона изменения $M_{к.}$ показано на рис. 2, 3.

Из приведенных рисунков следует, что значение нормируемой вероятности разрушения конструкции $1 \cdot 10^{-9}$ не является ни особой, ни характерной точкой на кривой $Q = f(M_{к.})$. Возникает вопрос: из каких соображений задано пороговое значение вероятности катастрофической ситуации $1 \cdot 10^{-9}$? Ответ на него может быть получен из п. 2.4 «Руководство по сохранению летной годности ИКАО» [2]: «... Для оценки приемлемости конструкции было

признано необходимым установить обоснованные значения вероятности, которые были определены на следующей основе:

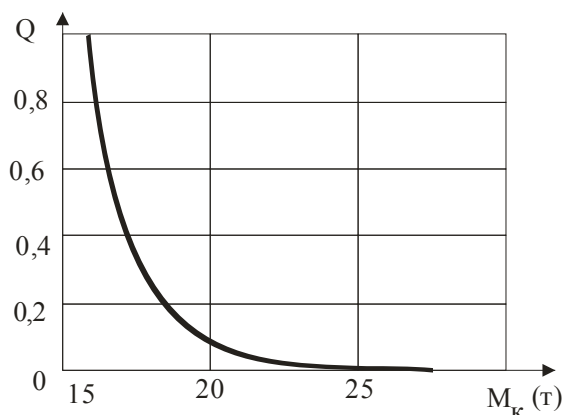


Рис. 2. Зависимость вероятности при малых массах

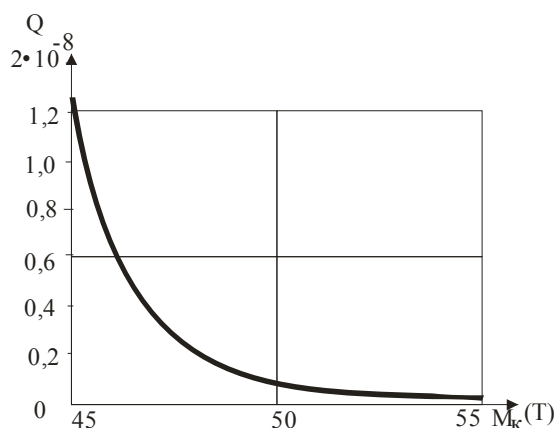


Рис. 3. Зависимость вероятности разрушения конструкции в диапазоне расчетной массы

а) опыт эксплуатации свидетельствует о том, что серьезное авиационное происшествие по причине эксплуатационного и конструктивного характера имеет место примерно один раз за миллион часов налета. В 10 % случаев такое происшествие может быть связано с отказными состояниями, возникающими вследствие отказа самолетных систем. Исходя из этого считалось, что для новых конструкций вероятность серьезных авиационных происшествий, вызванных отказами систем, не должна превышать этого показателя. Поэтому требуется, чтобы вероятность возникновения серьезного авиационного происшествия, вызванного всеми такими отказными состояниями, не превышала одного случая на 10 млн/ч. налета, т. е. вероятность должна составлять менее 10^{-7} ;

б) для того, чтобы удостовериться в обеспечении этого заданного показателя, необходимо выполнить комплексный количественный анализ надежности работы всех систем самолета. Для этого было сделано произвольное допущение о наличии примерно 100 потенциальных от-

казных состояний, которые будут препятствовать выполнению продолженного безопасного полета и посадки. Заданная вероятность происшествия, составляющая 10^{-7} , равномерно распределится между этими состояниями, что, в конечном итоге, обусловит вероятность каждого отказного состояния не более $1 \cdot 10^{-9}$. Таким образом, верхний предел вероятности отдельного отказного состояния, которое не позволит безопасно продолжить полет и выполнить посадку, установлен на уровне $1 \cdot 10^{-9}$ для каждого часа полета....».

Этот предел естественно установлен и для такого отказного состояния, которое обусловлено недостаточной надежностью и прочностью конструкции планера самолета и любой его системы. Совершенно очевидно, что в установлении нормативного значения вероятности катастрофической ситуации $1 \cdot 10^{-9}$ содержатся существенные неопределенности.

Определение частоты серьезного авиационного происшествия менее $1 \cdot 10^{-7}$ содержит две изменяющихся в эксплуатации предположительных оценки.

Принято произвольное допущение о 100 потенциальных отказных состояниях, которые приводят к катастрофе. В итоге, получена верхняя граница вероятности катастрофических ситуаций, вызванных отказами авиационной техники, равная $1 \cdot 10^{-9}$ на час полета. В целом, эта оценка воспринимается как обобщающая оценка опыта самолетостроения. Очевидно, что точное получение такой оценки из теоретических и экспериментальных материалов не представляется возможным.

Разработчикам самолетов в доказательной документации, подтверждающей соответствие самолета требованиям НЛГ, необходимо подтвердить недопустимость катастрофических отказных состояний с вероятностью не более $1 \cdot 10^{-9}$. Это тоже крайне непростая задача.

Оценки отношения массы конструкции самолетов к максимальной взлетной массе приведены табл. 2, 3. Среднее значение относительной массы конструкции для ближнемагистральных самолетов оказалось равным 0,586, для среднемагистральных – 0,542, для дальнемагистральных – 0,472. Это расхождение для различных классов самолетов вполне объяснимо.

Ближнемагистральные самолеты имеют продолжительность беспосадочного полета 1–2 ч, а дальнемагистральные – 10–12 ч. При одном и том же ресурсе 60 тысяч летных часов ближнемагистральные самолеты испытывают в 5 раз большее число циклов нагружения, определяемых взлетами и посадками, по сравнению с дальнемагистральными. Разброс относительных масс для самолетов одного класса в пределах 11–12 % представляется крайне существенным и труднообъяснимым.

Для рассматриваемого самолета Ту-204 уменьшение вероятности разрушения со значения $5,78 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-9}$ за 1 час требует увеличения массы конструкции с 40 т до 50 т, что на практике приведет к уменьшению массы по-

Таблица 1

Массы конструкции, полезного груза и вероятности разрушения самолета

$M_{кз}$, т	16,6	20	30	40	50	60	70
$M_{п.г.}$, т	58,6	55,2	45,2	35,2	25,2	15,2	5,2
Q	1	0,124	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$5,78 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-12}$	$5,82 \cdot 10^{-15}$

лезного груза с 35,2 до 25,2 т (см. табл. 1 и рис. 3). Надежность самолета в области значений вероятности разрушения $1 \cdot 10^{-9}$ за 1 час трудно прогнозировать и доказать, а ее увеличение сопряжено с существенным уменьшением массы полезного груза и коммерческой отдачи, т. е. конкурентоспособности. Повышение надежности и снижение ущерба от катастроф, в рассматриваемом случае, сопряжено с увеличением стоимости перевозок.

В связи с этим 11...12 % разброс массы конструкции самолетов одного класса при одинаковом уровне машиностроительного производства можно отнести к различной степени

рисков, принимаемых на себя разработчиками самолетов, поскольку уменьшение массы конструкции самолета на 10 % увеличивает риск разрушения с $1 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-8}$.

Библиографические ссылки

1. АП-25 Авиационные правила. Нормы летной годности самолетов. М. : МАК, 1994.
2. Дос 9642-AN/941. Руководство по сохранению летной годности. Международная организация гражданской авиации. 1995.

Таблица 2

Расчет соотношения масс для ближне- и дальнемагистральных самолетов

Класс	Ближнемагистральные					Дальнемагистральные					
Тип параметра	Ту-134А	Як-42	МД-81	В-737	А-320-100	Ил-62М	В-707-320В	В-767-200ER	Ил-96-300	А-340-200	MD-11
Год внедрения	1967	1980	1981	1990	1988	1974	1962	1984	1992	1992	1990
$M_{\max}$	47	57	63,5	52,4	66	167	151,5	175,5	216	251	273,3
M_k	29	33,5	35,5	31	38	73,4	67,1	83,8	117	118,6	126,7
$M_k/M_{\max}$	0,617	0,588	0,56	0,59	0,576	0,439	0,443	0,477	0,54	0,472	0,463

Таблица 3

Расчет соотношения масс для среднемагистральных самолетов

Класс	Среднемагистральные						
Тип параметра	Ту-154М	В-727-200	В-757-200	А-320-200	Ил-86	Л-1011	А-330-300
Год внедрения	1986	1971	1984	1988	1980	1972	1993
$M_{\max}$	100	95	108,8	73,5	210	195	208
M_k	55	46,7	58,2	39,8	117,4	108,5	117,7
$M_k/M_{\max}$	0,55	0,49	0,535	0,54	0,56	0,556	0,566

O. G. Boyko

THE ANALYSIS OF DEPENDENCE OF DURABILITY, RISK OF ACCIDENTS AND EFFICIENCY OF TRANSPORTATIONS ON AIRPLANE CONSTRUCTION WEIGHT

The analysis of conditions for support of durability, reliability and efficiency of transportations of planes of civil aviation is made.

Keywords: durability, flight weight of the plane, weight of the empty plane, weight of a payload, efficiency, risk of accidents.

© Бойко О. Г., 2010

А. Б. Надирадзе, В. В. Шапошников, В. А. Смирнов, И. А. Максимов, С. Г. Кочура

УЧЕТ ИНДИКАТРИСЫ РАСПЫЛЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКАХ ЭРОЗИОННО-ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУЙ ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Рассмотрен подход повышения точности оценок эрозионно-загрязняющего воздействия плазмы стационарных плазменных двигателей (СПД) на элементы конструкции космических аппаратов (КА) посредством учета индикатрисы распыления материалов. Описан эксперимент по определению индикатрисы распыления одного из конструктивных материалов – ленты Л1-ПМ. Представлены результаты сравнительного анализа расчетных уровней загрязнения радиатора системы терморегулирования (СТР) перспективной унифицированной спутниковой платформы «Экспресс-1000» с учетом и без учета индикатрисы распыления.

Ключевые слова: космический аппарат, стационарный плазменный двигатель, эрозия, загрязнение, деградация оптических коэффициентов, индикатриса распыления.

Оценка эрозионно-загрязняющего воздействия плазмы СПД на функциональные поверхности космических аппаратов (КА), и разработка, при необходимости, мероприятий по парированию их дестабилизирующего воздействия являются необходимыми требованиями к разработке и проектированию современных телекоммуникационных и других спутников со сроками активного существования, достигающими 15 лет.

Вследствие загрязнения продуктами эрозии могут измениться оптические коэффициенты загрязняемых поверхностей, в частности коэффициенты поглощения и излучения терморегулирующих покрытий (ТРП) радиаторов СТР. Снижение эксплуатационных характеристик СТР при превышении некоторого критического уровня загрязнения может привести к сбоям и отказам в функционировании подсистем КА, к которым предъявляются требования по обеспечению теплового режима.

В связи с возрастающими требованиями к целевым характеристикам и энерговооруженности КА и при наличии ограничений на увеличение массово-габаритных характеристик конструктивно-компоновочные схемы современных КА существенно «уплотняются». В результате возрастает эрозионное воздействие струй СПД на элементы конструкции КА и, как следствие, загрязнение критичных поверхностей КА продуктами эрозии. При этом, критичной поверхностью, наиболее загрязняемой продуктами эрозии, является ТРП радиаторов СТР.

Результаты расчетов значений поверхностной плотности пленок, образованных ввиду распыления струей СПД элементов конструкции КА, показывают, что уровень загрязнения продуктами распыления может достигать предельных величин. При этом, для парирования загрязняющего воздействия продуктов эрозии приходится увеличивать площадь ТРП. Так для парирования деградации коэффициента поглощения $\Delta A_s = 0,01$, требуется увеличение площади ТРП приблизительно на $0,5 \text{ м}^2$, что влечет за собой существенное увеличение массы и габаритов КА.

Чтобы исключить возможность получения сильно завышенных значений требуемой площади ТРП необходимо учесть все основные факторы, влияющие на эрозионно-загрязняющее воздействие плазмы СПД, и максимально увеличить точность прогнозирования.

Одним из путей повышения точности прогнозирования является учет индикатрисы распыления материалов поверхностей КА, попадающих в плазменные струи СПД.

В простейшем случае для задания индикатрисы распыления используют модель Ламберта с переменной по углу интенсивностью:

$$nv(R, \theta) = \frac{J_m}{2\pi R^2} \cos(\theta). \quad (1)$$

где J_m – интенсивность источника; R – расстояние от источника; θ – угол выхода частицы.

Однако точность такой аппроксимации, особенно при скользких углах падения ионов, невелика, т. к. при скользких углах падения (которые обычно реализуются при воздействии струй СПД на элементы конструкции КА) форма индикатрисы распыления существенно отличается от косинусной. Причем потоки, направленные на КА, оказываются существенно меньше, чем при использовании модели (1). В связи с этим, использование более точных моделей для описания индикатрисы распыления позволит существенно снизить расчетные величины потоков осаждения по сравнению с моделью косинуса.

Для аппроксимации индикатрисы распыления в настоящее время наиболее целесообразным является использование хорошо себя зарекомендовавшего соотношения Занга (Zhang) [1], позволяющего рассчитать потоки распыленных частиц в различных направлениях. Данное соотношение имеет вид

$$y = \frac{Y}{1 - \sqrt{\frac{E_*}{E}} \cos(\theta)} \cdot \frac{\cos(\psi)}{\pi} \times \left[1 - \frac{1}{4} \sqrt{\frac{E_*}{E}} \left(\cos(\theta) \gamma(\psi) + \frac{3}{2} \pi \sin(\theta) \sin(\psi) \cos(\varphi) \right) \right], \quad (2)$$

где $\gamma(\psi) = \frac{3 \sin^2(\psi) - 1}{\sin^2(\psi)} + \frac{\cos^2(\psi) \cdot (3 \sin^2(\psi) + 1)}{2 \sin^3(\psi)} \ln \left(\frac{1 + \sin(\psi)}{1 - \sin(\psi)} \right)$;

y – масса распыленного вещества с учетом индикатрисы; Y – полная масса распыленного вещества; θ – угол падения ионов по отношению к нормали; ψ – азимутальный угол вылета частиц распыления; φ – полярный угол вылета частиц распыления; E – энергия ионов; E_* – пороговая энергия распыления.

Преимущество этой формулы заключается в том, что индикатриса задается всего одним параметром $\varepsilon = E_*/E$, который можно определить экспериментально (рис. 1).

В струю двигателя СПД М50 под некоторым углом θ были помещены образцы исследуемого материала (полиимидной ленты Л1-ПМ): образцы 1 и 2. Образцы 1 использовались для определения коэффициента распыления материала весовым методом, образцы 2 – для определения индикатрисы распыления.

Для определения индикатрисы распыления использовался фотометрический метод, основанный на измерении коэффициента пропускания тонких пленок, образованных осажденным веществом. Для сбора распыленного вещества напротив исследуемых образцов в плоскости падения ионов и в перпендикулярной ей плоскости были расположены стеклянные пластинки. Исследуемые образцы и стеклянные пластинки помещались в специальный защитный кожух для исключения попадания на них продуктов распыления вакуумной камеры.

Измерение прозрачности пластинок осуществлялось до и после эксперимента с помощью спектрофотометра в 6 точках по длине стеклянной пластинки. Абсолютное значение осажденной массы измерялось с помощью кварцевых микровесов, установленных напротив исследуемого образца. Величина коэффициента пропускания вычисляется по формуле

$$T_{c,k} = \frac{T_k}{T_0}, \quad (3)$$

где T_0 – коэффициент пропускания чистого образца стекла; T_k – коэффициент пропускания образца стекла с осажденной на него пленкой в точке k .

Коэффициенты пропускания стеклянных образцов, вычисленные по формуле (3) для длины волны 425 нм, приведены на рис. 2.

Согласно закону Бугера-Ламберта, ослабление света в пленке зависит от ее толщины следующим образом:

$$T_{c,k} = \exp(-\beta \cdot h) \text{ или } T_{c,k} = \exp(-\beta \cdot m/\rho), \quad (4)$$

где β – коэффициент ослабления, учитывающий процессы рассеяния и поглощения света в пленке; h – толщина загрязняющей пленки; m – поверхностная плотность пленки (г/см^2); ρ – плотность пленки загрязнения.

При известной величине коэффициента пропускания и толщине пленки коэффициент ослабления β можно вычислить по формуле

$$\beta = \frac{1}{h} \ln(T_{c,k}). \quad (5)$$

Значение коэффициента ослабления β , найденное по формуле (5), составило $1,1 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$.

Величина коэффициента ослабления β довольно велика, что говорит о наличии в пленке большого количества центров поглощения. Принимая во внимание, что конденсирующимися продуктами распыления полиимидной ленты Л1-ПМ является, в основном, углерод, полученное значение удовлетворительно согласуется с данными работы [2].

Полагая, что величина коэффициента β является константой, была вычислена масса осажденной пленки во всех точках стеклянных пластинок по формуле

$$m_{c,k} = \frac{\rho}{\beta} \ln(T_{c,k}). \quad (6)$$

Для определения параметра индикатрисы распыления ε была решена следующая оптимизационная задача:

$$(M_0, \varepsilon) = \arg \min \{ \Omega \}; \quad \Omega = \sum_k (\hat{m}_{c,k} - \tilde{m}_{c,k})^2, \quad (7)$$

где $\hat{m}_{c,k}$ – экспериментально определенное значение массы осажденного вещества; $\tilde{m}_{c,k}$ – расчетное значение массы осажденного вещества, которое, согласно выражению (2), вычисляется по формуле

$$m_{c,k} = \frac{M_0}{2\pi r_k^2} \cdot \text{Ind}(\varphi, \psi, \varepsilon), \quad (8)$$

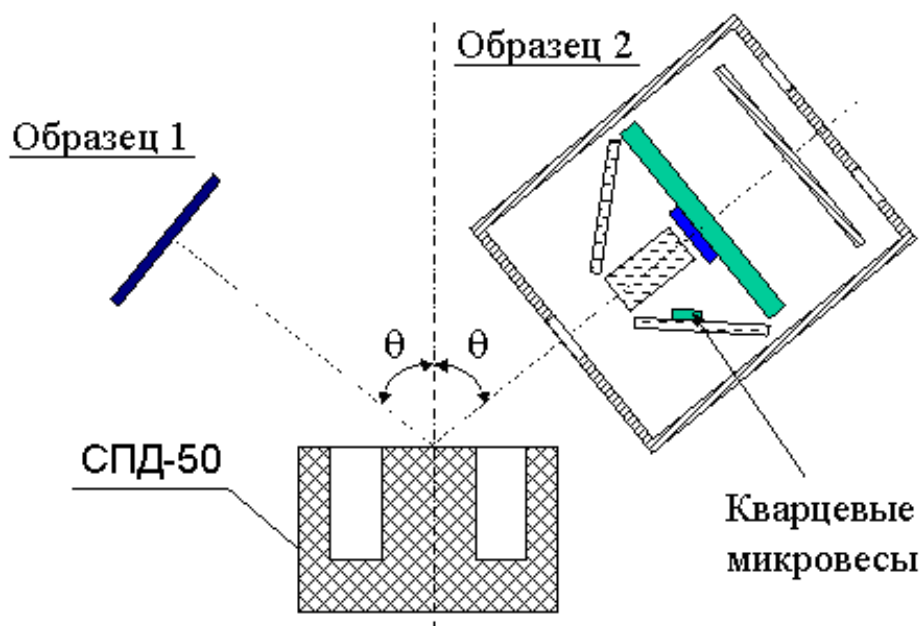


Рис. 1. Схема эксперимента по определению коэффициента и индикатрисы распыления

где M_0 – полная масса распыленного вещества; r_k – расстояние от центра области распыления до точки на стеклянной пластинке.

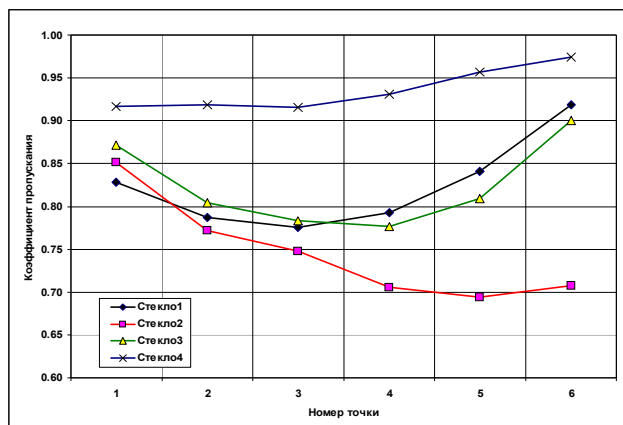


Рис. 2. Коэффициенты пропускания в различных точках стеклянных образцов

В результате решения оптимизационной задачи (7) было получено значение параметра индикатрисы распыления ϵ , равное 0,4. При этом пороговая энергия распыления для полиимидной ленты Л1-ПМ принималась равной 30 эВ. Формы индикатрисы распыления, определяемой полученным параметром ϵ , представлены на рис. 3.

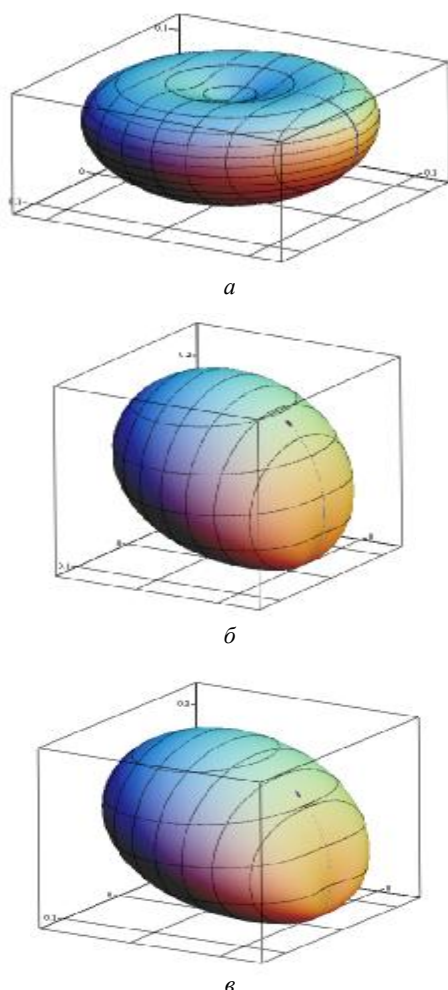


Рис. 3. Формы индикатрисы распыления для различных углов падения ионов: а – 0°; б – 45°; в – 60°

В диапазоне углов 0...60° индикатриса распыления имеет существенный наклон, что в значительной мере влияет на расчетное значение уровня загрязнения продуктами распыления (см. рис. 3). При дальнейшем увеличении угла падения ионов форма индикатрисы меняется незначительно [3].

Результаты расчетов уровней загрязнения ТРП радиатора СТР перспективной унифицированной спутниковой платформы «Экспресс-1000» разработки ОАО «Информационные спутниковые системы», продукты распыления элементов конструкции панелей батарей солнечных, экранированных в целях снижения величин эрозии полиимидной лентой Л1-ПМ, без учета и с учетом индикатрисы распыления представлены на рис. 4. Расчеты проведены с использованием программного комплекса TurboDESIGN 7,0 (разработанного в МАИ), результаты описанного выше эксперимента которого интегрированы в модельно-математический аппарат.

Анализ результатов расчетов показывает, что учет индикатрисы распыления позволяет снизить расчетное значение среднеинтегрального уровня загрязнения в 2 раза – с $5,5 \cdot 10^{-6}$ г/см² (без учета индикатрисы распыления) до $2,7 \cdot 10^{-6}$ г/см² (с учетом индикатрисы распыления). Причем, снижение уровня загрязнения ТРП радиатора СТР продуктами распыления отдельных элементов конструкции панелей солнечных батарей достигает 4,7 раз.

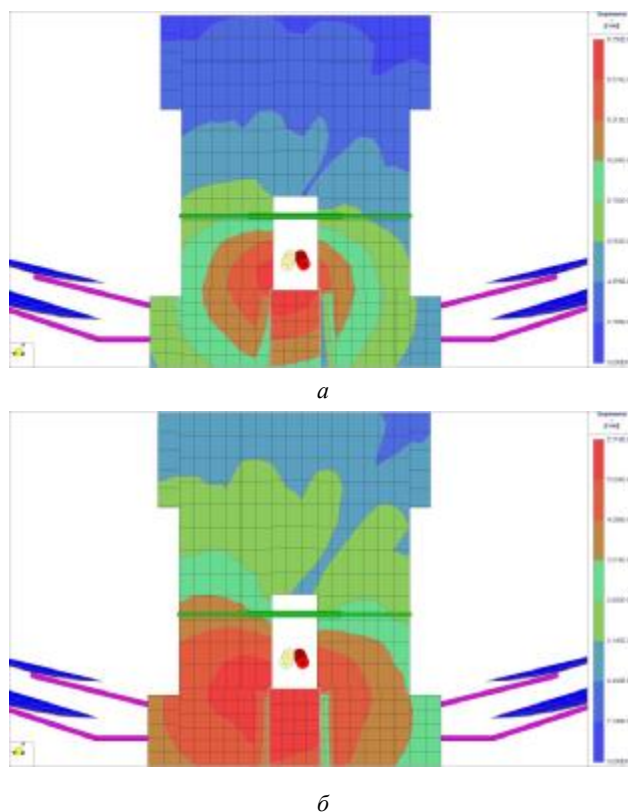


Рис. 4. Результаты расчетов уровней загрязнения радиатора СТР продуктами распыления элементов конструкции панелей солнечных батарей: а – без учета индикатрисы распыления; б – с учетом индикатрисы распыления

При разработке подхода повышения точности оценок эрозионно-загрязняющего воздействия плазмы СПД посредством учета индикатрисы распыления получены

следующие результаты, обладающие признаками новизны:

- разработана методика экспериментального определения индикатрисы распыления материалов и покрытий КА;

- осуществлена подготовка экспериментальной базы и проведены эксперименты по определению индикатрисы распыления полиимидной лентой Л1-ПМ;

- проведен анализ полученных экспериментальных данных, с использованием функции Занга получено значение параметра индикатрисы распыления ε для полиимидной ленты Л1-ПМ, равное 0,4 (для энергии ионов 200 эВ);

- проведены расчеты уровней загрязнения радиатора СТР перспективной унифицированной спутниковой платформы «Экспресс-1000» продуктами распыления, подтвердившими, что учет индикатрисы распыления существенно снижает расчетные уровни загрязнения.

Таким образом, учет индикатрисы распыления материалов поверхностей КА, попадающих в плазменные струи СПД, является эффективным способом повыше-

ния точности оценок эрозионно-загрязняющего воздействия плазмы СПД, который позволяет предотвратить неоправданное увеличение массы и габаритов КА.

Библиографические ссылки

1. Differential Sputter Yields Of Boron Nitride, Quartz, and Kapton Due to Low Energy Xe⁺ Bombardment / P. Yalin, B. Rubin, S. R. Domingue, Z. Glueckert, J. D. Williams. AIAA 2007-5314, 43th AIAA Joint Propulsion Conference and Exhibit, Cincinnati, OH. 8–11 July 2007.

2. Надирадзе А. Б., Паршина Е. Б. Определение изменения свойств оптических покрытий космических аппаратов в результате их загрязнения. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2006. № 10. С. 25–32.

3. Проблемы прикладной физики. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Физическое распыление одноэлементных твердых тел / под ред. Р. Бериша. М., 1984.

A. B. Nadiradze, V. V. Shaposhnikov, V. A. Smirnov, I. A. Maximov, S. G. Kochura

INDICATRIX ACCOUNT OF MATERIALS DISPERSION AT THE ESTIMATIONS OF EROSION-CONTAMINATING INFLUENCE OF STREAMS OF PLASMA THRUSTERS ON SPACE CRAFT

The approach of the estimation accuracy increase of the erosion-contaminative plasma influence of the stationary plasma thrusters (SPT) on the space craft structure elements by means of recordkeeping of indicatrix of materials dispersion is investigated in the report. The experiment on the dispersion indicatrix rating of one of the constructional material – Л1-ПМ ribbon is described in the article. The results of the comparative analyses of the radiator contamination predicted levels of the Thermal Control System (TCS) of the perspective unified «Express-1000» satellite platform with account and without account of the indicatrix of dispersion are presented in the report.

Keywords: space craft, stationary plasma thruster, erosion, contamination, degradation of the optical coefficient, indicatrix of dispersion.

© Надирадзе А. Б., Шапошников В. В., Смирнов В. А., Максимов И. А., Кочура С. Г., 2010

Ю. В. Морозов, С. И. Снисаренко

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛН ДЕФОРМАЦИЙ В КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Предложен испытательный стенд для исследования ударного нагружения композитных конструкций типа балок и пластин. Ударное нагружение осуществлялось ударником с пьезокерамическим датчиком силы со скоростью до 40 м/с. Регистрация результатов осуществляется с помощью компьютерной измерительной системы. Представлены результаты экспериментов по регистрации контактной силы удара и соответствующие расчеты нестационарных изгибных и сдвиговых волн деформаций для стеклопластиковых балок и пластин.

Ключевые слова: композитные конструкции, ударное нагружение, волны деформаций, компьютерная измерительная система.

В настоящее время композиционные материалы (КМ) применяются в изделиях как военной, так и гражданской авиационной техники по массе, не превышающей 20 %. Стремление увеличить количество композитов до 50 % и более, как это сделано на самолете Boeing-787, впервые представленном в 2007 г., сразу выявило ряд недостатков подобной тенденции, главным образом, из-за недостаточной ударной стойкости применяемых композиционных материалов. Причем речь идет не об ударных повреждениях, вызванных чрезвычайными ситуациями на борту воздушного судна, а о воздействии ударных нагрузок, вполне допустимых в эксплуатации для конструкций из традиционных материалов. Таким образом, в настоящее время существует потребность в создании ударостойких элементов конструкций, выполненных из волокнисто-слоистых композиционных материалов типа стекло- и углепластиков, применение которых в изделиях авиационной техники невозможно без надежных и достоверных экспертных оценок, получаемых в результате комплексного использования численного моделирования и экспериментальных исследований.

На данный момент накоплен богатый опыт теоретических исследований, в которых рассматриваются явления распространения волн деформаций в композитных конструкциях под действием ударного нагружения, обобщенных в монографиях [1–4] и др., в то время как экспериментальных исследований недостаточно. Сложность проведения ударных испытаний по сравнению со статическими заключается в том, что в настоящее время не отработаны в полной мере нормативные требования к испытательным стендам, датчикам и контрольно-измерительной аппаратуре, а также к методикам проведения соответствующих испытаний. Поэтому предъявляются особые требования к точности и надежности получаемых экспериментальных данных.

Для проведения экспериментальных исследований создан автоматизированный испытательный стенд для ударных испытаний и компьютерная измерительная система (КИС) с использованием технологии виртуальных приборов и программного обеспечения LabVIEW фирмы National Instruments (NI). Разработанная методика регистрации контактной силы удара и динамических деформаций позволяет с достаточно высокой точностью определять экспериментальные данные, необходимые для

проведения соответствующих расчетов с целью создания ударостойких композитных изделий.

Автоматизированный испытательный стенд для ударных испытаний. В состав схемы испытательного стенда входят нагружающее устройство, система регистрации скорости удара, система тензометрирования, система динамического силоизмерения, компьютерная измерительная система (рис. 1).

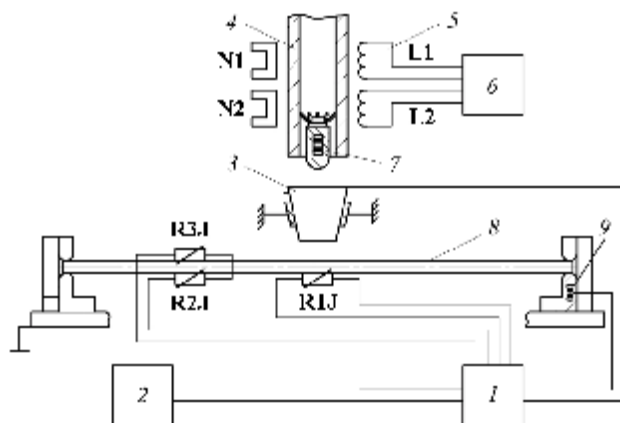


Рис. 1. Схема автоматизированного испытательного стенда для ударного нагружения балок и пластин:

- 1 – модуль нормирования сигналов; 2 – персональный компьютер со встраиваемым устройством сбора данных;
- 3 – коническая контактная поверхность; 4 – направляющий ствол легкогазовой баллистической установки;
- 5 – магнитоиндукционные датчики регистрации скорости ударника; 6 – электронный частотомер для определения скорости ударника;
- 7 – пьезокерамический датчик-ударник; 8 – испытываемый образец (балка, пластина);
- 9 – универсальная опора с пьезокерамическим датчиком силы

Нагружающее устройство представляет собой легкогазовую баллистическую установку для ударного нагружения объектов ударниками массой $5 \div 100 \cdot 10^{-3}$ кг со скоростью до 40 м/с [1]. Скорость ударника замерялась с помощью магнитоиндукционных датчиков при пролете им базового расстояния между магнитами N1 и N2 с катушками индуктивности L1 и L2. При ударном нагружении балок и пластин нестационарные поверхностные де-

формации регистрировались фольговыми тензодатчиками типа КФ-4П1-5-100-Б-12.

Отличительной особенностью системы динамического силоизмерения является использование датчика-ударника [5] контактной силы удара (величины, продолжительности и формы изменения силы в зоне контакта ударника с объектом), выполненного на основе пьезокерамических таблеток типа ЦТС (диаметром 8 мм и толщиной 2...8 мм). Калибровка пьезокерамических датчиков силы производилась путем статического нагружения полностью собранного динамометра на испытательной машине Р-5 с точностью до 2,5 кг. Существенным моментом при статической калибровке пьезокерамических датчиков силы является замер появляющегося на обкладках пьезокристалла (как правило, металлизированных напылением серебра) напряжения и защита заряда от «стекания». Для этих целей применялся усилитель типа 2628 фирмы Брюль и Кьер. Благодаря высокому входному сопротивлению, достигающему $1,5 \cdot 10^{12}$ Ом, постоянная времени прибора составляет порядка 2000 С, что позволяет измерять статические сигналы от пьезокерамических датчиков силы в режиме калибровки с наименьшими погрешностями.

Регистрация сигналов с тензодатчиков R1J, R2J, R3J и пьезокерамического датчика-ударника осуществлялась компьютерной измерительной системой (рис. 2). Таким образом, в состав КИС входят система тензометрирования, система силоизмерения, а также аппаратные средства и соответствующее программное обеспечение [2].

Аппаратные средства компьютерной измерительной системы следующие:

- нормирующий преобразователь НП1 типа NI SCXI-1520;
- коннекторный блок КБ1 типа NI SCXI-1314;
- нормирующий преобразователь НП2 типа NI SCXI-1120;
- коннекторный блок КБ2 типа NI TBX-1316;
- шасси NI SCXI-1000;
- устройство сбора данных NI PCI-6221M.

Программное обеспечение компьютерной измерительной системы:

- среда графического программирования NI LabVIEW;
- набор драйверов NI DAQmx.

НП1 – восьмиканальный нормирующий преобразователь, необходимый для преобразования изменения сопротивления тензодатчика в электрическое напряжение.

Для присоединения тензодатчиков к НП1 служит коннекторный блок КБ1. Каждый из восьми каналов НП1 содержит резисторы, дополняющие полумостовую схему присоединения тензодатчиков. Датчик RJ1 подключается по четвертьмостовой схеме, а датчики RJ2 и RJ3 – по полумостовой схеме.

НП2 – восьмиканальный нормирующий преобразователь предназначен для измерения высоких напряжений. Коннекторный блок КБ2 служит для подачи на НП2 напряжения с пьезокерамического датчика до 1000 В. Для предотвращения выхода из строя устройства сбора данных и компьютера каждый канал НП2 содержит усилитель с гальванической развязкой и фильтром низкой частоты 10 кГц.

Преобразователи НП1, НП2 и коннекторный блок КБ1 находятся внутри помехозащищенного шасси SCXI-1000, которое имеет блок питания и четыре слота для размещения преобразователей.

Выходные напряжения с НП1 и НП2 поступают на восьмиканальную подсистему аналогового ввода устройства сбора данных (в составе КИС задействованы три измерительных канала: два канала для подключения тензодатчиков и один канал для подключения пьезокерамического датчика). В состав устройства сбора входят также двухканальная подсистема аналогового вывода, восьмиканальная подсистема цифрового ввода-вывода и два счетчика-таймера.

Устройство сбора данных размещается внутри системного блока компьютера и вставляется в слот расширения PCI.

Компьютер осуществляет управление устройством сбора данных и нормирующими преобразователями, производит математическую обработку измеряемых величин, полученных от устройства сбора данных, и отображение результатов на дисплее в числовой и графической форме посредством среды графического программирования LabVIEW, которая поддерживает технологию виртуальных приборов [6]. Взаимодействие LabVIEW с устройством сбора данных и нормирующими преобразователями осуществляется с помощью набора драйверов DAQmx.

Погрешность компьютерной измерительной системы включает в себя погрешности подсистемы аналогового

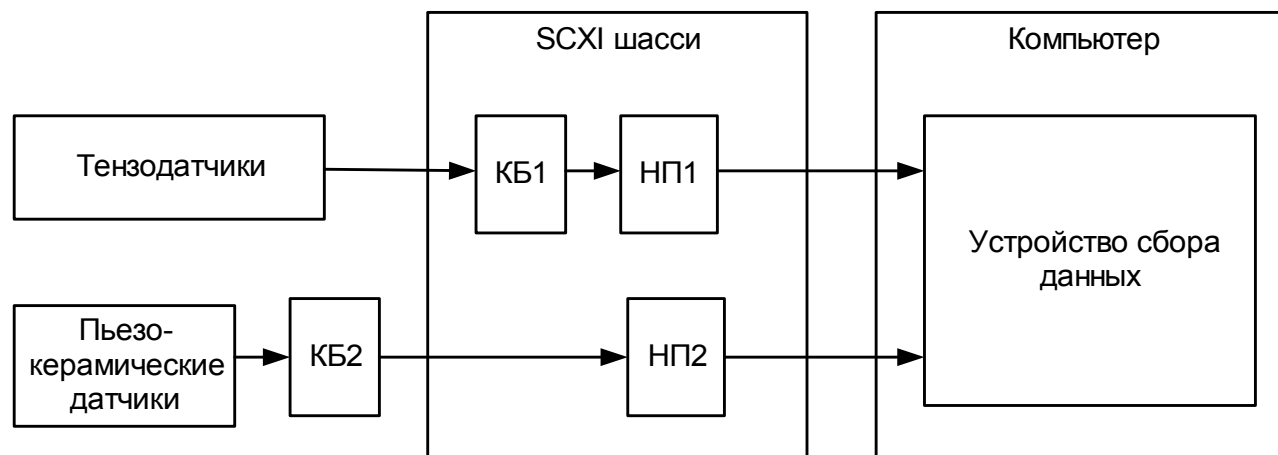


Рис. 2. Структурная схема компьютерной измерительной системы

ввода устройства сбора данных и погрешностей нормирующих преобразователей. Максимальная погрешность подсистемы аналогового ввода устройства сбора данных для диапазона измеряемых напряжений с учетом разрядности аналого-цифрового преобразователя 16 бит составляет 0,02 %. Максимальные погрешности тензометрического нормирующего преобразователя НП1 – 0,2 %, высоковольтного нормирующего преобразователя НП2 – 0,8 % (данные о погрешностях взяты из спецификаций, предоставленных производителем National Instruments). Использование ранее [5] в составе испытательных стендов контрольно-записывающей аппаратуры на базе электронных осциллографов обеспечивало среднеквадратичные погрешности систем тензометрирования – 5,4 %, силоизмерения – 6,1 %. Применение компьютерной измерительной системы позволило уменьшить погрешность измерения до 2 %, благодаря использованию взамен электронных осциллографов технологии виртуальных приборов NI.

Идентификация формы импульсов силы удара. Осциллограмма контактной силы $P(t)$, полученная с помощью датчика-ударника при поперечном центральном ударе по шарнирно опертой балке из стеклопластика с симметричной укладкой волокон $[0_8^0 / \pm 45_8^0 / 90_8^0]$ и геометрическими размерами $(100,0 \times 10,0 \times 10,2) \cdot 10^{-3}$ м представлена на рис. 3. Скорость соударения равна 5 м/с, масса ударника составляет $51 \cdot 10^{-3}$ кг. Характеристики монослоя стеклопластика: $\rho = 1800$ кг/м³, $h = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м, $E_{11} = 270 \cdot 10^8$ Н/м², $E_{22} = 70 \cdot 10^8$ Н/м², $G_{12} = 46 \cdot 10^8$ Н/м², $\nu_{12} = 0,26$. Объемная доля полимерного связующего в пакете композита составляет 35 %.

Как известно, при отношении массы балки к массе ударника $m/M < 1$ имеет место одиночный удар [7]. При $m/M > 1$ возникают повторные соударения (рис. 3). В рамках элементарной теории удара это явление можно объяснить следующим образом: в момент столкновения скорость балки превышает скорость ударника и балка опережает ударник, поэтому плотность контакта уменьшается, и при $t \approx 3$ мкс появляется первый относительный максимум; затем скорость балки уменьшается, и она работает как сжимающая пружина, а ударник движется с прежней скоростью, плотность контакта возрастает, и при $t \approx 19$ мкс появляется второй максимум; после этого ударник движется в противоположном направлении, и при $t \approx 86$ мкс происходит отскок.

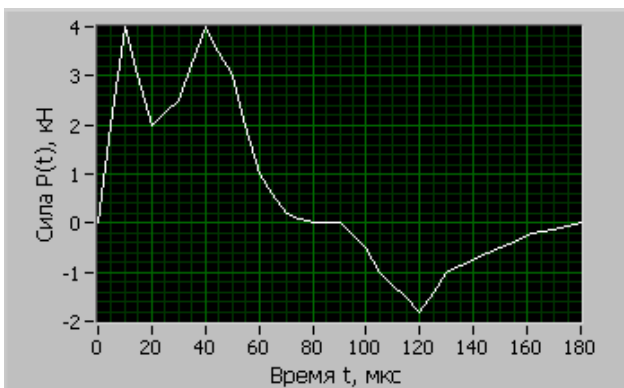
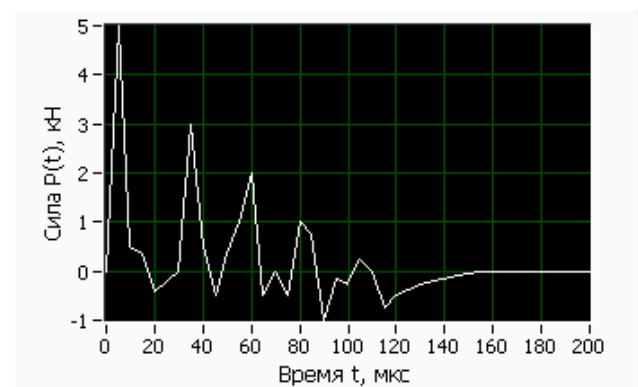


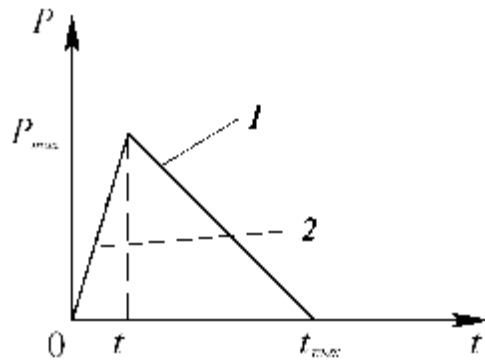
Рис. 3. Осциллограмма контактной силы $P(t)$ при поперечном центральном ударе по шарнирно опертой балке из стеклопластика

Для проведения численных расчетов необходимо аппроксимировать зависимость контактной силы от времени $P(t)$ заданными функциями. В работе [8, с. 8–46] отмечается, что при низкоскоростном (менее 5 м/с) ударном нагружении пластин контактную силу с достаточной степенью точности можно аппроксимировать полуволной синусоиды с максимальной амплитудой $P_{\max}$ и длительностью $t_{\max}$. Представленные в данной работе результаты экспериментов показали, что при скоростях соударения в диапазоне 5–40 м/с необходимы другие аппроксимации (рис. 4).

Осциллограмма контактной силы $P(t)$, полученная при поперечном центральном ударе по жестко защемленной пластине из стеклопластика с углами укладки волокон $[0_8^0 / \pm 45_8^0 / 90_8^0]$ и геометрическими размерами $(100,0 \times 100,0 \times 7,2) \cdot 10^{-3}$ м представлена на рис. 4, а. Скорость соударения равна 18 м/с, масса ударника – $51 \cdot 10^{-3}$ кг.



а



б

Рис. 4. Осциллограмма контактной силы $P(t)$ (а) и очертание формы импульсов (б) при поперечном центральном ударе по жестко защемленной пластине из стеклопластика:

$$1 - P = P_{\max} (1 - t/t_{\max}); \quad 2 - P = P_{\max} t/t_1$$

Огибающая импульсов повторных соударений представляет собой треугольник с возрастающим и убывающим участками (рис. 4, б). Число повторных соударений увеличивается с ростом скорости ударного нагружения. Оказалось, что такая форма огибающей импульсов сохраняется в диапазоне скоростей соударения 5–40 м/с, при этом начальный участок 2, на котором нагрузка возрастает по времени, на порядок меньше участка 1, на котором нагрузка убывает. Кроме того, начальный участок тем меньше, чем выше скорость удара.

Численное исследование нестационарных деформаций. Расчеты нестационарных деформаций при действии

определенных в настоящей работе функций силы удара $P(t)$ проведены для композитных балок методом конечных элементов (МКЭ). Уравнение движения МКЭ имеет вид

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [C]\{\dot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = P(t)\{\delta_j\}, \quad (1)$$

где $[M]$, $[C]$, $[K]$ – матрицы масс, вязкости и жесткости соответственно; $\{\delta\}$ – вектор обобщенных перемещений; $P(t)$ – функция контактной силы удара; $\{\delta_j\}$ – символ Кронекера. Интегрирование уравнения движения МКЭ (1) выполнено методом Рунге–Кутты.

Использовались конечные элементы, учитывающие поперечные сдвиги, согласно теории Тимошенко, предложенные в работе [9]. Расчеты проведены с помощью пакета прикладных программ «UDAR», описанного в [10].

В качестве реологической модели механического поведения композиционных материалов принята линейная зависимость напряжений $\{\sigma\}$ от деформаций $\{\varepsilon\}$ и их скоростей (модель Фойгта) [6]:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} + [W]\{\dot{\varepsilon}\},$$

где $[D]$, $[W]$ – приведенные матрицы жесткости и вязкости композиционного материала.

Результаты расчета максимальных значений изгибных $\varepsilon_{\text{н}}$ и сдвиговых $\varepsilon_{\text{с}}$ деформаций по пролету шарнирно опертой углепластиковой балки с углами укладки волокон $[0^\circ / \pm 45^\circ / 90^\circ]$ и геометрическими размерами $(250 \times 10 \times 10) \cdot 10^{-3}$ м представлены на рис. 5. Балка нагружалась центральным поперечным импульсом синусоидальной формы с максимальным значением силы удара $P_{\text{max}} = 2 \cdot 10^3$ Н и временем ее действия $t_{\text{max}} = 2 \cdot 10^{-4}$ с, что соответствует соударению балки ударником массой $51 \cdot 10^{-3}$ кг со скоростью 5 м/с. Точками показаны максимальные экспериментальные значения изгибных деформаций. Различие расчетных и экспериментальных значений не превышает 10 %.

Особенностью нестационарного деформирования балок из волокнисто-слоистых материалов типа стекло- и углепластиков, имеющих малую сдвиговую жесткость, является то, что изгибные и сдвиговые деформации одного порядка. Как показали расчеты (рис. 5), максимальное значение нестационарных изгибных деформаций, имеющих место в центре балки, равно $\varepsilon_{\text{н}} = 0,565\%$, а максимальное значение сдвиговых деформаций $\varepsilon_{\text{с}} = 0,432\%$.

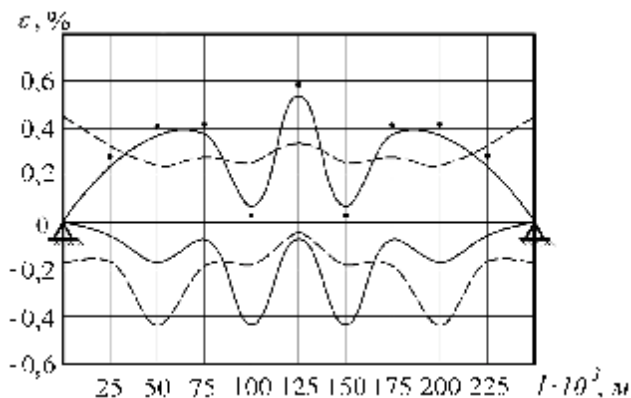


Рис. 5. Максимальные значения изгибных $\varepsilon_{\text{н}}$ (—) и сдвиговых $\varepsilon_{\text{с}}$ (---) деформаций по пролету углепластиковой балки, нагружаемой центральным поперечным импульсом синусоидальной формы: линии – результаты расчета; точки – экспериментальные данные

Сдвиговые деформации одного порядка с изгибными ($\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{н}} \approx 0,8 \dots 0,9$), при низкоскоростном (менее 5 м/с) ударном нагружении балок с отношением высоты h в поперечном сечении к длине L в диапазоне $0,04 < h/L < 0,10$. Для коротких балок с отношением $h/L > 0,1$ разрушения следует ожидать в результате сдвиговых деформаций, так как в этом случае они больше изгибных ($\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{н}} \approx 1,06$). При скорости ударного нагружения более 5 м/с функцию силы удара $P(t)$, входящую в уравнение (1), следует аппроксимировать треугольным импульсом (см. рис. 4). Как показали расчеты, с уменьшением времени действия контактной силы удара разрушение в результате сдвиговых деформаций может происходить и в случае более длинных балок с отношением $h/L < 0,04$.

Таким образом, применение компьютерной измерительной системы в составе автоматизированного испытательного стенда для проведения ударных испытаний позволяет в два и более раза повысить точность получаемых экспериментальных данных, главным образом, посредством среды графического программирования LabVIEW, которая поддерживает технологию виртуальных приборов.

Установлено, что при поперечном ударе по композитным балкам и пластинам очертание форм импульсов зависит от скорости соударения, которые можно аппроксимировать известными функциями:

- при низкоскоростном ударе до 5 м/с очертание формы импульсов приближается к синусоидальной с максимальной амплитудой P_{max} и длительностью t_{max} ;
- скоростях удара в диапазоне 5...40 м/с очертание формы импульсов можно аппроксимировать треугольным импульсом возрастающей и убывающей нагрузок;
- скоростях удара выше 40 м/с очертание формы импульсов следует аппроксимировать треугольным импульсом только убывающей нагрузки.

Библиографические ссылки

1. Абросимов Н. А., Баженов В. Г. Нелинейные задачи динамики композитных конструкций. Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2002.
2. Андреев А. Н., Немировский Ю. В. Многослойные анизотропные оболочки и пластины. Новосибирск : Наука, 2001.
3. Аннин Б. Д. Механика деформирования и оптимальное проектирование слоистых тел. Новосибирск : Изд-во ин-та гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 2005.
4. Бакулин В. Н., Образцов И. Ф., Потопахин В. А. Динамические задачи нелинейной теории многослойных оболочек. М. : Физматлит, 1998.
5. Снисаренко С. И. Универсальный испытательный стенд и методы исследования композитных балок, пластин и оболочек при ударном нагружении // Научный вестник НГТУ. 2009. № 3 (36). С. 121–129.
6. Евдокимов Ю. В., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. LabVIEW 8 для радиоинженера. М. : ДМК Пресс, 2007.
7. Голоскоков Е. Г., Филиппов А. П. Нестационарные колебания. Киев : Наукова думка, 1977.
8. Динамика удара / пер. с англ. под ред. С. С. Григоряна. М. : Мир, 1985.

9. Рикардс Р. Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин. Рига : Зинатне, 1988.

10. Бачурин А. С., Насыров Р. В., Снисаренко С. И. Пакет прикладных программ «UDAR» для задач ударно-

го нагружения и нестационарного деформирования композиционных балок, пластин и оболочек // Научный вестник НГТУ. 2009. № 3 (36). С. 185–192.

Yu. V. Morozov, S. I. Snisarenko

COMPUTERIZED TEST STAND FOR RESEARCH OF STRAIN WAVES IN COMPOSITE CONSTRUCTIONS

The paper presents a test stand for investigation of composite constructions such as beams and plates to be shock loaded by a striker with piezoelectric force transducer. Velocity of the striker is up to 40 mps. Measurements results are acquired by a computerized measurement system. Experimental results of contact shock force acquisition are stated with following calculations of non-stationary bending and shearing strain waves in glass-fiber-reinforced plastic beams and plates.

Keywords: composite constructions, shock loading, strain waves, computerized measurement system.

© Морозов Ю. В., Снисаренко С. И., 2010

УДК 621.391.6

С. А. Матюнин, В. Д. Паранин, В. И. Левченко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ФУНКЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА*

Предложена конструкция управляемых дифракционных структур, основанных на линейном электрооптическом эффекте. Теоретически исследовано влияние ориентации электрооптического кристалла, направления распространения световой волны и распределения управляющего электрического поля на параметры управляемых структур. Приведены показатели эффективности управляемых дифракционных структур и рассчитаны их значения для нескольких частных случаев.

Ключевые слова: электрическое поле, линейный электрооптический эффект, управляемые дифракционные структуры.

Элементы и устройства, основанные на электрооптическом эффекте, широко применяются для управления параметрами оптического излучения, например, интенсивностью, фазой, состоянием поляризации, спектральным составом [1]. Их достоинствами являются: высокое быстродействие (единицы ГГц), большая номенклатура функциональных материалов с различными физическими свойствами. В настоящее время на основе электрооптического эффекта разработаны объемные и планарные модуляторы, коммутаторы, дефлекторы широкополосного и лазерного излучения, перестраиваемые спектральные фильтры и т. п.

Одним из перспективных направлений развития данного класса устройств является разработка электрооптических управляемых дифракционных структур (УДС), обладающих перестраиваемой фазовой функцией [2]. В общем случае конструкция таких элементов включает электрооптический материал, управляющие электроды с индивидуальной или групповой адресацией, обеспечи-

вающие требуемое распределение показателя преломления в объеме материала, а также комплекс функциональных покрытий, обладающих электроизоляционными, защитными, спектроформирующими или поляризационно-избирательными функциями (рис. 1).

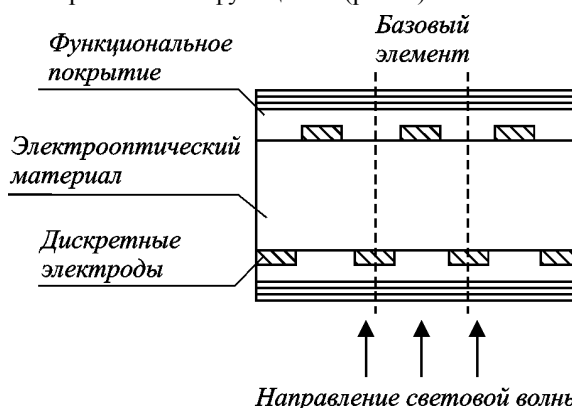


Рис. 1. Общий вид управляемой дифракционной структуры

* Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию РФ (код проекта 10в-Б001-053).

Изменение вида фазовой функции с помощью одно- или многоканального источника напряжения приводит к формированию определенной диаграммы направленности такой структуры и изменению спектрального состава.

Целью настоящей работы являлось моделирование фазовой функции управляемых дифракционных структур.

Поскольку УДС на основе дифракционных решеток образуют периодические структуры, то для удобства была разработана система условных обозначений структур. Система обозначений управляемых дифракционных структур основана на конструктивных признаках базового элемента. Под базовым элементом понимается элементарная часть конструкции, многократное повторение которой образует УДС. Данная система учитывает количество и тип электродов (непрерывный, дискретный) на каждой поверхности элемента, распределение потенциалов по электродам, наличие функциональных покрытий. Условное обозначение базовых оптических элементов предлагается производить по следующей структурной формуле:

$$N_1 \frac{(X_1 - Y_1 - Z_1) : P_1}{(M_1 - R_1 - K_1) : T_1},$$

где N_1 – количество повторений базовой структуры; X_1 , M_1 – число электродов верхнего (нижнего) слоя базовой структуры; $Y_1 = \{^N_D\}$, $R_1 = \{^N_D\}$ – тип электродов верхнего (нижнего) слоя (N – непрерывный или D – дискретный); $Z_1 = \{^0_1\}$, $K_1 = \{^0_1\}$ указывают на распределение потенциала на верхних (нижних) электродах (0 – потенциал всех электродов одинаков, 1 – потенциал электродов различен); $P_1 = \{^0_1\}$, $T_1 = \{^0_1\}$ – наличие (1) или отсутствие (1) функционального верхнего (нижнего) слоя базовой структуры.

Примеры основных типов базовых элементов с их обозначениями и описаниями приведены в табл. 1.

Поскольку структура электрического поля в дифракционных УДС достаточно сложна и тип преимуществен-

ного типа электрооптического эффекта существенно зависит от соотношения геометрических размеров УДС и свойств электрооптического материала, то для оценки эффективности конструкции и используемого типа электрооптического эффекта сформулированы локальный и интегральный показатели эффективности элементов:

– показатель преимущественного типа электрооптического эффекта

$$g_{i,j} = \frac{|E_{i,j}^x \cdot n_{i,j} \cdot a_{i,j}^x| - |E_{i,j}^y \cdot n_{i,j} \cdot a_{i,j}^y|}{|E_{i,j}^x \cdot n_{i,j} \cdot a_{i,j}^x| + |E_{i,j}^y \cdot n_{i,j} \cdot a_{i,j}^y|}, \quad (1)$$

– показатель электрооптической эффективности УДС

$$G = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{i,j} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |E_{i,j}^x \cdot n_{i,j} \cdot a_{i,j}^x| - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |E_{i,j}^y \cdot n_{i,j} \cdot a_{i,j}^y|}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |E_{i,j}^x \cdot n_{i,j} \cdot a_{i,j}^x| + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |E_{i,j}^y \cdot n_{i,j} \cdot a_{i,j}^y|}, \quad (2)$$

где $|E_{i,j}^x|$, $|E_{i,j}^y|$ – абсолютные значения проекций вектора напряженности электрического поля на оси координат x, y ; i, j – дискретные координаты точек пространства, в которых рассчитывается функционал; n, m – количество точек в дискретном пространстве по осям x, y ; $n_{i,j}$, $a_{i,j}^x$, $a_{i,j}^y$ – показатель преломления электрооптического материала и проекции вектора направления распространения световой волны на оси координат x, y для точки i, j дискретного пространства.

Эти показатели учитывают как конструктивное исполнение элемента, так и свойства выбранных электрооптических материалов и средств управления и позволяют провести оптимизацию параметров управляемого дифракционного элемента по определенному показателю или их группе.

Здесь показатель $g_{i,j}$ характеризует эффективность электрооптического эффекта в выбранной точке про-

Таблица 1

Примеры типовых структур базовых элементов УДС и их обозначения

Условное обозначение	Краткое описание	Структура базового элемента
$\frac{1-N-0}{1-N-0}$	Последовательная структура с одним верхним и одним нижним непрерывными электродами без функциональных слоев	
$\frac{2-D-1}{1-N-0}$	Последовательная структура с двумя дискретными электродами с разными потенциалами верхнего слоя и одним непрерывным электродом нижнего слоя без функциональных слоев	
$\frac{(2-D-1):1}{1-N-0}$	Последовательная структура с двумя дискретными электродами с разными потенциалами верхнего слоя и одним непрерывным электродом нижнего слоя, с одним верхним функциональным слоем	
$2 \frac{(2-D-1):1}{1-N-0}$	Последовательно-параллельная структура, состоящая из двух базовых элементов, каждый из которых включает два дискретных электрода с разными потенциалами на верхнем слое и один непрерывный электрод на нижнем слое, а также один верхний функциональный слой	

странства (локальный показатель), G – среднеинтегральную эффективность базового элемента (интегральный показатель).

Частным случаем формул (1), (2) является случай, когда направление распространения световой волны совпадает с одной из координатных осей x, y . Тогда выражения для показателей эффективности принимают вид:

$$g_{i,j} = \frac{|E_{i,j}^x| - |E_{i,j}^y|}{|E_{i,j}^x| + |E_{i,j}^y|}, \quad (3)$$

$$G = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{i,j} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |E_{i,j}^x| - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |E_{i,j}^y|}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |E_{i,j}^x| + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |E_{i,j}^y|}. \quad (4)$$

Диапазон изменения значений локального и интегрального функционалов $g_{i,j}$ и G – от минус одного (–1) для продольного (вдоль координатной оси y) электрооптического эффекта до плюс одного (+1) для поперечного электрооптического эффекта (вдоль координатной оси x). Задав классификационным уровнем по выбранному показателю (например, 0,1) можно получить численную оценку эффективности моделируемого электрооптического дифракционного элемента.

Примеры распределения локального показателя эффективности $g_{i,j}$ для базовых элементов типа $(2-D-1):1$ и $(2-B-1):1/(1-N-D)$ приведены на рис. 2, 3.

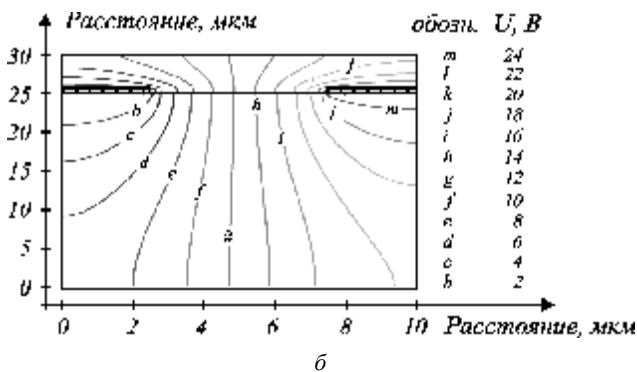
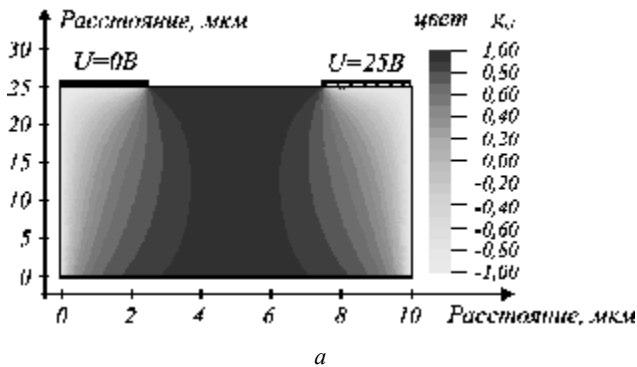


Рис. 2. Пример распределения локального показателя эффективности $g_{i,j}$ (а) и эквипотенциальные линии электрического поля (б) в базовом элементе типа $(2-D-1):1$

Элемент $(2-D-1):1$ с выбранными конструктивными и геометрическими параметрами обеспечивает практи-

чески 100 % поперечный электрооптический эффект в центральной области и смешанный эффект в боковых областях (см. рис. 2), поэтому для рационального использования возможностей данного элемента следует выбирать тип и ориентацию электрооптического материала, обеспечивающие поперечный электрооптический эффект. Элемент типа $(2-B-1):1/(1-N-D)$ обеспечивает смешанный электрооптический эффект в межэлектродной области, с преимущественно поперечным характером в верхней части и продольным – в нижней (рис. 3), поэтому для рационального использования возможностей данного элемента следует дополнительно исследовать электрооптическую эффективность для различных ориентаций кристаллов. Принципиальным отличием элемента данного типа от рассмотренного ранее является возможность создания наклонного линейного или нелинейного фазовых профилей, поскольку области преимущественно поперечного и продольного эффектов имеют приблизительно треугольное распределение.

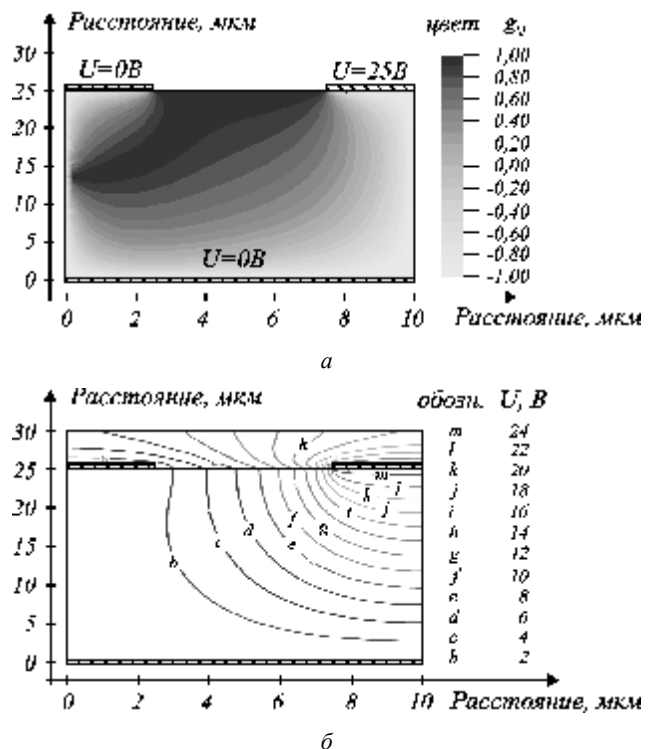


Рис. 3. Пример распределения локального показателя эффективности $g_{i,j}$ (а) и эквипотенциальные линии электрического поля (б) в базовом элементе типа $(2-B-1):1/(1-N-D)$:

Для более точного математического моделирования процессов в УДС определена зависимость показателя преломления для световой волны с произвольным направлением и состоянием поляризации от типа и ориентации электрооптического кристалла, напряженности управляющего электрического поля. В результате разработана математическая модель, учитывающая изменение оптической индикатрисы электрооптического кристалла под действием составляющих электрического поля в произвольно ориентированном кристалле, и найдена конечная формула, связывающая значение показателя преломления n_{p2} с исходными данными задачи:

$$n_{p2} = \frac{\sqrt{(k_{2z2}b_2 - b_3k_{2y2})^2 + (b_3k_{2x2} - k_{2z2}b_1)^2 + (b_1k_{2y2} - k_{2x2}b_2)^2}}{\sqrt{B + C + D + E + F + H + J}};$$

$$B = b_1b_3k_{2x2}k_{2y2}d_3 - 2b_1b_3k_{2x2}k_{2z2}c_2 + b_3^2k_{2x2}^2c_2;$$

$$C = -b_2b_3k_1^2d_3 + b_3^2c_1k_{2y2}^2 + b_3b_2k_{2x2}k_{2z2}d_1;$$

$$D = -2b_2b_3k_{2y2}k_{2z2}c_1 + c_1k_{2z2}^2b_2^2 - b_1b_3d_2k_{2y2}^2;$$

$$E = b_1b_2k_{2y2}k_{2z2}d_2 + b_1^2k_{2y2}^2c_3 - k_{2x2}k_{2y2}b_3^2d_1;$$

$$F = -2k_{2x2}k_{2y2}b_1b_2c_3 + k_{2x2}k_{2y2}b_2b_3d_2 - k_{2x2}k_{2z2}b_2^2d_2;$$

$$H = k_{2x2}^2b_2^2c_3 - k_{2y2}k_{2z2}b_1^2d_3 + k_{2y2}k_{2z2}b_1b_3d_1;$$

$$J = -b_1b_2k_{2z2}^2d_1 + k_{2x2}k_{2z2}b_1b_2d_3 + k_{2z2}^2b_1^2c_2,$$

где k_{2x2} , k_{2y2} , k_{2z2} – направляющие косинусы световой волны в системе координат кристалла, а коэффициенты b_1 , b_2 , b_3 , c_1 , c_2 , c_3 , d_1 , d_2 , d_3 вычисляются следующим образом:

$$b_1 = \left(p_{2y2} + \frac{p_{2z2}(k_{2y2}p_{2x2} - k_{2x2}p_{2y2})}{k_{2x2}p_{2z2} - k_{2z2}p_{2x2}} \right);$$

$$b_2 = -p_{2x2};$$

$$b_3 = -\frac{p_{2x2}(k_{2y2}p_{2x2} - k_{2x2}p_{2y2})}{k_{2x2}p_{2z2} - k_{2z2}p_{2x2}};$$

$$c_1 = \left(\frac{1}{n_{x2}^2} + r_{11}E_{x2} + r_{12}E_{y2} + r_{13}E_{z2} \right);$$

$$c_2 = \left(\frac{1}{n_{y2}^2} + r_{21}E_{x2} + r_{22}E_{y2} + r_{23}E_{z2} \right);$$

$$c_3 = \left(\frac{1}{n_{z2}^2} + r_{31}E_{x2} + r_{32}E_{y2} + r_{33}E_{z2} \right);$$

$$d_1 = 2(r_{61}E_{x2} + r_{62}E_{y2} + r_{63}E_{z2});$$

$$d_2 = 2(r_{51}E_{x2} + r_{52}E_{y2} + r_{53}E_{z2});$$

$$d_3 = 2(r_{41}E_{x2} + r_{42}E_{y2} + r_{43}E_{z2}),$$

где n_{x2} , n_{y2} , n_{z2} – показатели преломления кристалла при отсутствии управляющего поля; r_{lk} – электрооптические коэффициенты, м/В; E_{x2} , E_{y2} , E_{z2} – проекции напряженности управляющего поля на оси кристалла, В/м; p_{2x2} , p_{2y2} , p_{2z2} – направляющие косинусы вектора поляризации.

Для расчета электростатического поля в анизотропной среде проанализированы различные возможные методы решения: метод зеркальных отображений, граничных потенциалов, конформных отображений, а также методы, основанные на конечно-разностной аппроксимации [3; 4]. В итоге предпочтение было отдано численным методам решения, как наиболее универсальным. Для расчета электростатического поля в УДС был применен программный продукт FlexPDE 5,0 с использованием адаптивной треугольной сетки. Возможности созданного собственного программного обеспечения позволили также вычислять фазовую функцию $\varphi(x)$ на выходе УДС (с учетом состояния поляризации p_{2x2} , p_{2y2} , p_{2z2} и электрооптических коэффициентов r_{lk}):

$$\Delta\varphi(x) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \int_0^h \Delta n(E_a(x, y); E_c(x, y)) dy, \quad (5)$$

где λ_0 – длина волны используемого излучения, м; h – толщина электрооптического материала, м; Δn – изменение показателя преломления под действием электростатического поля; $E_a(x, y)$, $E_c(x, y)$ – проекции напряженности управляющего поля на осях a и c кристалла соответственно, В/м.

В результате моделирования получено, что на основе структур типа $(2-B-1):1/(1-N-D)$ могут быть созданы УДС различного типа, например, рассеивающего, а также управляемые дифракционные решетки «с блеском», если вектор напряженности электростатического поля $E_x(x, y)$ между любыми двумя соседними электродами будет направлен в одну сторону.

Фазовые функции (5) для базового элемента типа $(2-B-1):1/(1-N-D)$ на основе a -среза ниобата бария-стронция марки SBN:75, c -ось которого перпендикулярна одномерной решетке управляющих электродов, приведены на рис. 4, 5. Ширина электродов и размер дифракционной щели составил 5 мкм, толщина электродов – 0,5 мкм, направление распространения световой волны задавалось параллельным x -оси кристалла. Толщина защитного покрытия (двуокись кремния) составила 0,11 мкм.

Изменение толщины кристалла влияет на распределение управляющего электростатического поля и вид формируемой фазовой функции (рис. 4, 5). А изменение потенциалов электродов определяет только высоту профиля фазовой функции, изменяет дифракционную эффективность элемента и осуществляет перестройку УДС по длине волны излучения.

Вид фазовой функции (3) элемента $(2-D-1):1$ со следующими параметрами: электрооптический материал – ниобат бария-стронция марки SBN:75, c -ось которого перпендикулярна одномерной решетке управляющих электродов, ширина электродов и размер дифракционной щели составляет 5 мкм, толщина электродов равна 0,5 мкм, направление распространения световой волны – параллельное a -оси кристалла, представлен на рис. 6. Толщина защитного покрытия (двуокись кремния) составила 0,11 мкм.

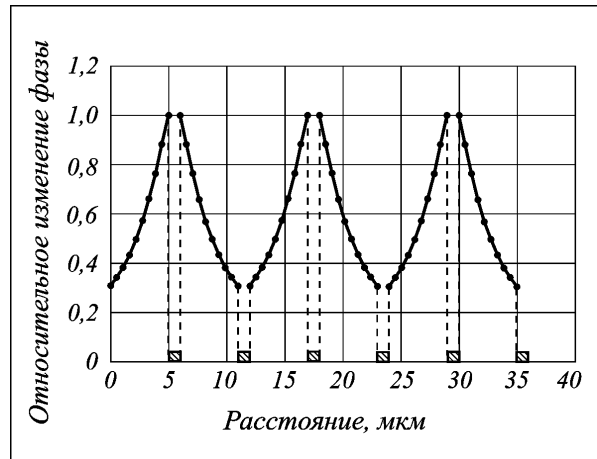


Рис. 4. Относительное распределение набег фазы по ширине дифракционной щели элемента $(2-B-1):1/(1-N-D)$ с толщиной кристалла 11 мкм

Таким образом, видно, что формируемый вид фазовой функции – квазипрямоугольный со скважностью, определяемой шириной и периодом расположения электродов УДС; изменение потенциалов электродов определяет только высоту профиля фазовой функции (см. рис. 6).

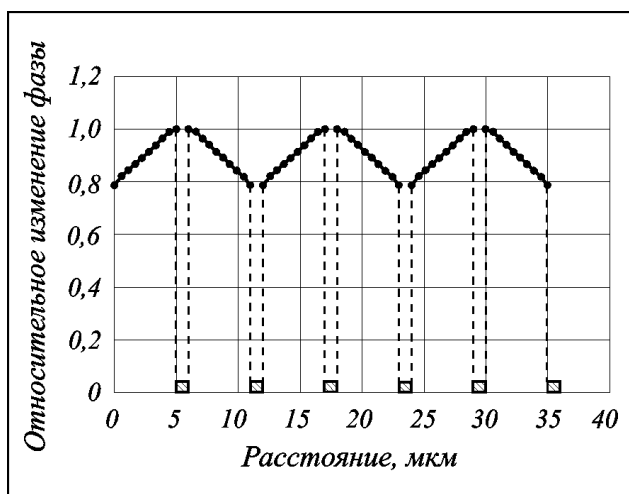


Рис. 5. Относительное распределение набега фазы по ширине дифракционной щели элемента $(2-B-1):1/(1-N-D)$: с толщиной кристалла 100 мкм

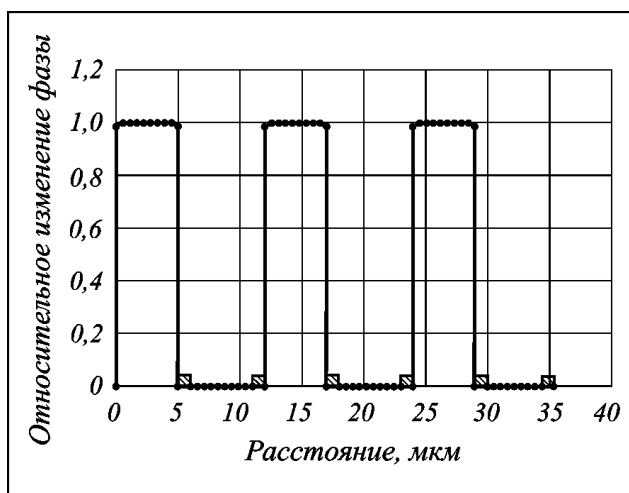


Рис. 6. Относительное распределение набега фазы по ширине дифракционной щели элемента $(2-D-1):1$ с толщиной кристалла 100 мкм

Исследование элементов с различной толщиной кристалла показало, что для толщин SBN:75 порядка 2–3 периодов решетки электродов и более вид фазовой функции практически не изменяется, оставаясь приблизительно прямоугольным.

На основе структуры $(2-B-1):1/(1-N-D)$ могут быть созданы элементы рассеивающего типа, а также управляемые дифракционные решетки «с блеском», наклонный фазовый профиль которых создается с помощью нескольких «ступенек» (см. рис. 5).

Таким образом, полученные модельные зависимости и расчеты позволяют анонсировать создание нового класса перестраиваемых дифракционных элементов, реализующих фазовые функции произвольного вида, например, квазипрямоугольные, линейные, квадратичные и т. д., что позволит реализовать элементы и устройства, выполняющие функции коммутации, модуляции, отклонения оптического излучения, а также изменение (коррекцию) его диаграммы направленности.

Библиографические ссылки

1. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах : пер. с англ. М. : Мир, 1987.
2. Матюнин С. А., Федотов Ю. А., Паранин В. Д. Математическое моделирование и оптимизация управляемых элементов дифракционной оптики для систем связи // Труды Всерос. конф. по волоконной оптике ВКВО-2009, специальный выпуск журнала Фотон-Экспресс. Т. 6. 2009. № 78. С. 241–242.
3. Бинс К., Лауренсон П. Анализ и расчет электрических и магнитных полей. М. : Энергия, 1970.
4. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы : учеб. пособие для вузов. М. : Наука, 1989.

S. A. Matyunin, V. D. Paraniin, V. I. Levchenko

MODELING OF PHASE FUNCTION OF CONTROLLED DIFFRACTION ELEMENTS ON THE BASIS OF LINEAR ELECTRO-OPTICAL EFFECT

A design of controlled diffractive structures based on linear electro-optic effect is suggested. The influence of the electro-optical crystal orientation, the direction of optical wave propagation and distribution of the control electric field to the characteristics of controlled structures is considered. The efficiency indicators of controlled diffraction structures are proposed and their values for several special situations are calculated.

Keywords: electrostatic field, electro-optical effect, controlled diffraction element.

© Матюнин С. А., Паранин В. Д., Левченко В. И., 2010

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ КАНАЛА ПРОПЛАВЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО СТЫКА ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ*

Рассматривается аналитическое описание процессов изменения тормозного рентгеновского излучения от положения канала проплавления относительно стыка свариваемых деталей при электронно-лучевой сварке. Математические модели используются для синтеза систем автоматического направления луча.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, рентгеновское излучение, математическое ожидание положения луча, плотность распределения электронов.

Точное позиционирование луча по стыку свариваемых деталей при электронно-лучевой сварке (ЭЛС) является актуальным, особенно при сварке протяженных стыков.

В работе [1] рассмотрены математические модели процессов изменения интенсивности рентгеновского излучения (РИ) от положения луча относительно стыка при отсутствии оплавления (рис. 1). Показано, что информацию о положении электронного луча относительно стыка свариваемых соединений можно получить в непосредственной близости от канала проплавления путем кратковременного вывода луча из канала, осуществлением измерительных операций и возвращением луча в зону сварки. Очевидно, что время вывода должно быть таким, чтобы не произошло заметных изменений в сварочной ванне. При таком способе присутствует методическая погрешность определения положения луча относительно стыка, связанная с опережающим положением измерительного луча. Кроме того необходимы дополнительные коммутационные операции, обеспечивающие достаточные скорости перемещения луча, а это, в свою очередь, требует дополнительных аппаратных средств, что снижает надежность. В связи с этим рассматривается возможность получения требуемой информации непосредственно из канала проплавления.

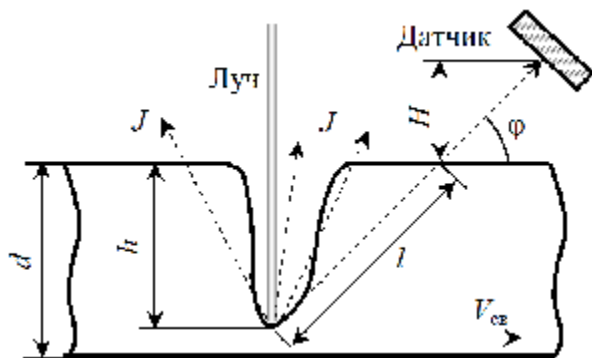


Рис. 1. Определение интенсивности регистрируемого РИ

В этом случае РИ исходит из канала проплавления и на пути к датчику претерпевает ослабление в слое l каждого из свариваемых материалов, определяемого глубиной проплавления h и положением датчика относительно

но свариваемых деталей (z, H) (рис. 1). В пределах зазора излучение не ослабляется. Зависимость интенсивности РИ в относительных единицах от положения ε луча относительно стыка в данном случае может быть представлена следующим образом [1]:

$$J_{\text{отн}}(\varepsilon) = \left[e^{-\mu_1 l_1} Z_1 \int_{-\infty}^{\frac{\Delta}{2}} \psi_1(x) e^{-\frac{(x-\varepsilon)^2}{2\sigma^2}} dx + \frac{Z_1 + Z_2}{2} \int_{\frac{\Delta}{2}}^{\frac{\Delta}{2}} e^{-\frac{(x-\varepsilon)^2}{2\sigma^2}} dx + e^{-\mu_2 l_2} Z_2 \int_{\frac{\Delta}{2}}^{\infty} \psi_2(x) e^{-\frac{(x-\varepsilon)^2}{2\sigma^2}} dx \right], \quad (1)$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты ослабления РИ свариваемых материалов; $\psi_1(x)$ и $\psi_2(x)$ – коэффициенты, учитывающие конструкционные особенности свариваемого соединения; l_1, l_2 – средние пути, проходимые рентгеновскими лучами в свариваемых материалах; σ – среднеквадратическое отклонение электронов от оси пучка; Z_1 и Z_2 – атомные номера свариваемых материалов; Δ – зазор в стыке; K – коэффициент, учитывающий долю РИ, регистрируемую датчиком; C – коэффициент пропорциональности.

Если $d_1 > d_2$, то $l_1 = h_1 / \sin \varphi$, $l_2 = (h_1 - \Delta d) / \sin \varphi$, где $\Delta d = d_1 - d_2$; h_1 – глубина проплавления детали с толщиной d_1 ; d_2 – толщина второй детали.

Графики зависимости интенсивности РИ от положения луча ε относительно стыка деталей из сплава АМг-6, рассчитанные в соответствии с (1) при $d_1 = d_2$, представлены на рис. 2. В этом случае, $l_1 = l_2$, $\psi_1(x) = \psi_2(x) = 1$. Зависимости экстремальные, но характер экстремума, в отличие от рассмотренных в работе [1], – это максимум. Положение экстремума соответствует положению не смещенного со стыка луча. При постоянном u и увеличении зазора увеличивается относительное изменение интенсивности РИ при перемещении луча относительно стыка, т. е. характер изменения интенсивности излучения такой же, как в случае отсутствия оплавления кромок.

При ЭЛС алюминиевых сплавов превышение кромок заметно влияет на интенсивность рентгеновского излучения при глубинах проплавления, меньших 15 мм. Это связано с незначительной разницей ослабления излучения в материалах с разной глубиной проплавления, обус-

*Работа выполнена при финансовой поддержке АВИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2957).

ловленной превышением z . Действительно, интенсивность РИ проникающего через слой x материала в относительных единицах определяется выражением [2]

$$J_{\text{отн}} = e^{-\mu x}.$$

Отсюда видно, что для сплава АМГ-6 ($\mu = 147 \text{ м}^{-1}$) при толщине $x = 15 \text{ мм}$ примерно 90 % излучения поглощается в материале. Поэтому при больших глубинах проплавления изменение ее в широких пределах слабо влияет на интенсивность РИ, а, следовательно, и на характеристики, определяющие зависимость излучения от положения луча относительно стыка при наличии превышения кромок.

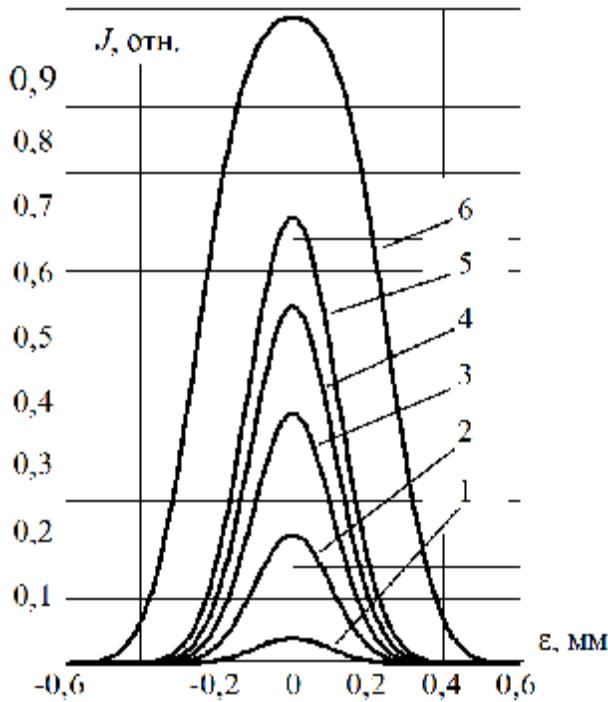
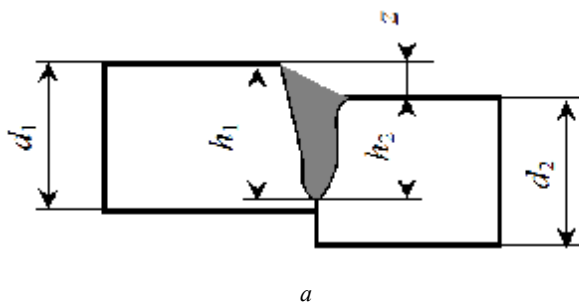


Рис. 2. Зависимость интенсивности РИ от положения канала относительно стыка: $\sigma = 0,1 \text{ мм}$; $h = 25 \text{ мм}$; 1 – $\Delta = 0,01$; 2 – $\Delta = 0,05$; 3 – $\Delta = 0,1$; 4 – $\Delta = 0,15$; 5 – $\Delta = 0,2$; 6 – $\Delta = 0,5$

Произведя в (1) следующие подстановки:

$$l_1 = \frac{h_1}{\sin \varphi}; \quad l_2 = \frac{h_2}{\sin \varphi} = \frac{h_1 - z}{\sin \varphi},$$

где h_1, h_2 – глубины проплавления, $h_1 > h_2$; z – превышение кромок (рис. 3), получим выражение для расчета зависимостей интенсивности РИ от положения канала относительно стыка при ЭЛС однородных металлов и наличии превышения кромок:



$$J_{\text{отн}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \times \left[e^{-\frac{\mu h_1}{\sin \varphi}} \int_{-\infty}^{\frac{\Delta}{2}} e^{-\frac{(x-\epsilon)^2}{2\sigma^2}} dx + \int_{\frac{\Delta}{2}}^{\frac{\Delta}{2}} e^{-\frac{(x-\epsilon)^2}{2\sigma^2}} dx + e^{-\frac{\mu h_2}{\sin \varphi}} \int_{\frac{\Delta}{2}}^{\infty} e^{-\frac{(x-\epsilon)^2}{2\sigma^2}} dx \right]. \quad (2)$$

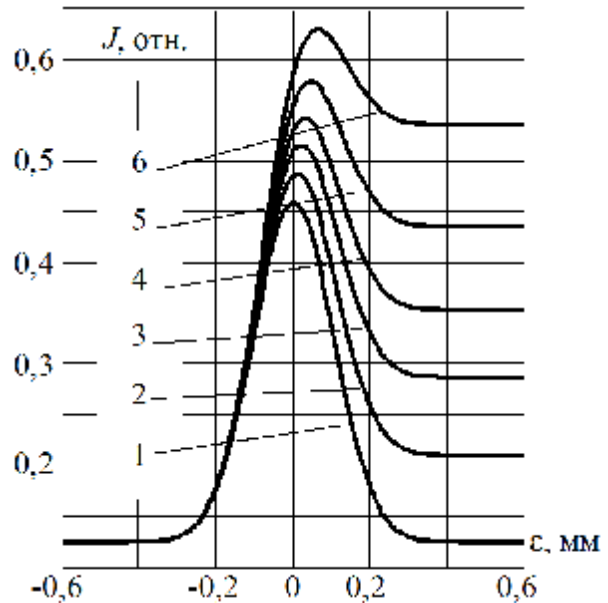


Рис. 4. Зависимость РИ от ϵ : 1 – $z = 0$; 2 – $z = 2,5$; 3 – $z = 4$; 4 – $z = 5$; 5 – $z = 6$; 6 – $z = 7 \text{ мм}$

Графики зависимостей, рассчитанные в соответствии с соотношением (2) при $h_1 = 10 \text{ мм}$, $\Delta = 0,1 \text{ мм}$ и $U_{\text{уск}} = 30 \text{ кВ}$ для сплава АМГ-6, приведены на рис. 4. При увеличении превышения z (уменьшении глубины проплавления h_2) уровень излучения повышается при смещении луча в сторону детали с меньшей глубиной проплавления. Одновременно происходит смещение (пропорциональное превышению кромок z) экстремума характеристик в ту же сторону, а правые ветви характеристик становятся более пологими, т. е. коэффициент преобразования датчика уменьшается. Однако по сравнению со случаем неоплавления кромок [1], названные изменения оказываются значительно меньше и проявляются при больших превышениях. Это наглядно видно из графиков (рис. 5), рассчитанных в соответствии с соотношением (2) при различных глубинах проплавления и одинаковых для всех случаев превышения кромок.

Видно, что разный наклон ветвей характеристик и смещение экстремума отчетливо наблюдаются при глу-

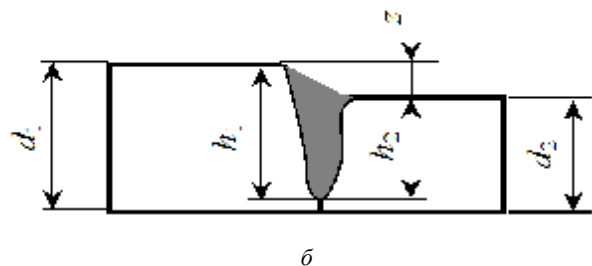


Рис. 3. Виды превышения кромок: а – неточность сборки ($d_1 = d_2$); б – сварка деталей разной толщины ($d_1 \neq d_2$)

бинах проплавления до 15 мм. При больших глубинах проплавления превышения в указанных пределах практически не влияют на интенсивность РИ. Последнее указывает на тот факт, что при ЭЛС с превышением кромок предпочтительнее применять рассматриваемый способ регистрации РИ для получения требуемой информации.

Аналогичная ситуация имеет место при ЭЛС разнородных металлов. Так при ЭЛС меди и стали с ускоряющим напряжением 60 кВ коэффициенты линейного ослабления составляют $4,005 \text{ мм}^{-1}$ и $2,574 \text{ мм}^{-1}$, соответственно. Поэтому уже при глубинах проплавления 5 мм и более ослабление РИ (приблизительно в e^{20} и e^{13} раз) можно считать одинаковым. В связи с этим разница наклона ветвей зависимостей интенсивности РИ от положения луча относительно стыка и смещение экстремума от оси стыка заметно проявляются при глубинах проплавления менее 1 мм. Зависимости, рассчитанные в соответствии с соотношением (2) при ускоряющем напряжении 60 кВ, зазоре в стыке 0,1 мм и $\sigma = 0,1$ мм, представлены на рис. 6.

Результаты расчета подтверждают целесообразность использования рассматриваемого способа измерения интенсивности РИ для контроля положения канала проплавления относительно стыка свариваемых деталей, особенно при ЭЛС разнородных металлов и возможном превышении кромок.

Экстремальный характер рассмотренных зависимостей предполагает возможную реализацию устройств управления положением электронного луча при ЭЛС известными способами поиска экстремума.

Экстремальный характер зависимости рентгеновского излучения от положения канала проплавления относительно стыка свидетельствует об очевидной возможности технической реализации поиска экстремума известными методами и осуществления, тем самым, управления положением электронного луча с требуемой точностью.

Определение положения стыка при ЭЛС разнородных металлов, а также стыков с превышением кромок в широком диапазоне глубин проплавления не требуют учета

смещения экстремума характеристик относительно стыка, особенно при ЭЛС разнородных металлов с малыми зазорами (часто встречается на практике).

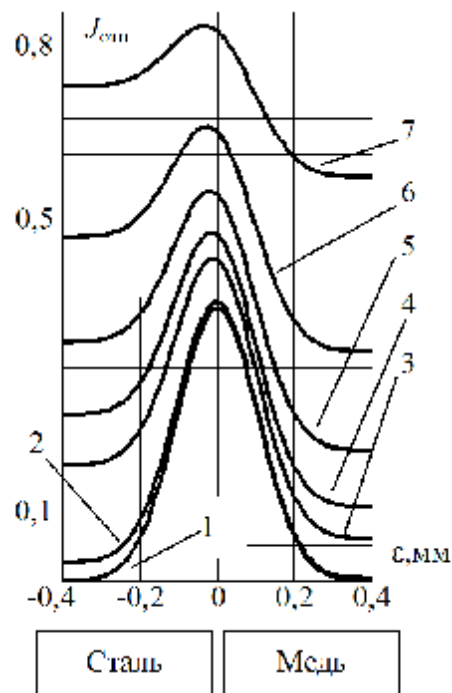


Рис. 6. Зависимость РИ от ϵ при ЭЛМ стали и меди:
1 – $h = 5$; 2 – $h = 1,5$; 3 – $h = 0,5$; 4 – $h = 0,4$; 5 – $h = 0,3$;
6 – $h = 0,2$; 7 – $h = 0,1$ мм

Относительное изменение интенсивности рентгеновского излучения при перемещении луча относительно стыка может служить критерием чувствительности датчика к смещению луча относительно стыка.

Библиографические ссылки

1. Математические модели процессов изменения рентгеновского излучения от положения луча относительно

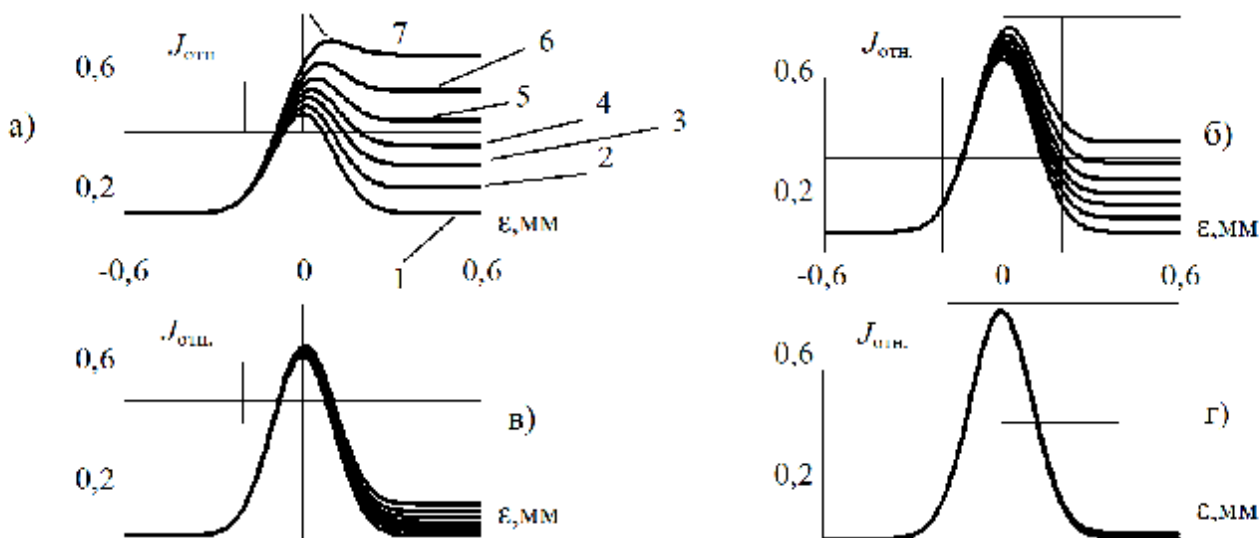


Рис. 5. Зависимость РИ от ϵ при различных h и одинаковых: а – $h_1 = 10$; б – $h_1 = 15$; в – $h_1 = 20$; г – $h_1 = 30$; 1 – $z = 0$;
2 – $z = 2,5$; 3 – $z = 4$; 4 – $z = 5$; 5 – $z = 6$; 6 – $z = 7$; 7 – $z = 8$ мм

стыка при электронно-лучевой сварке / В. Я. Браверманн [и др.] // Вестн. СибГАУ. Вып. 2. 2009. С. 247–251.

2. Хараджа, Ф. Н. Общий курс рентгенотехники. М.: Энергия, 1966.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev

ANALYSIS OF X-RAY RADIATION DEPENDENCE ON MELTING CHANNEL POSITION RELATIVELY TO JOINT UNDER THE ELECTRON BEAM WELDING PROCESS

We are providing an analytical description of processes of changing the braking X-ray radiation according to position of fusion penetration channel against the seam of the welded parts during the Electron Beam Welding. The mathematical models are used for the synthesis of the automatic beam positioning systems.

Keywords: electron beam welding, X-ray radiation, mathematical expectation of beam position, electron density of distribution.

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., 2010

УДК 629.7.023.2:535.362

М. М. Михайлов, А. Н. Лапин

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ТЕРМОСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА БАРИЯ

Выполнен сравнительный анализ спектров диффузного отражения, интегральных коэффициентов поглощения и их изменений после облучения электронами ($E = 30$ кэВ, $\Phi \leq 3 \cdot 10^{16}$ см⁻²) покрытий на основе порошков титаната бария, модифицированных оксидом алюминия и диоксидом циркония ($Ba_{0,6}Al_{0,4}TiO_3$ и $BaTi_{0,7}Zr_{0,3}O_3$). Установлено, что использование нанопорошков Al_2O_3 и ZrO_2 вместо микропорошков при модифицировании $BaTiO_3$ приводит к увеличению радиационной стойкости покрытий.

Ключевые слова: титанат бария, спектры отражения, радиационная стойкость, покрытия, нанопорошки.

Системы терморегулирования (СТР) космических аппаратов (КА), обеспечивающие заданный тепловой режим, делятся на активные и пассивные. Активные СТР являются громоздкими, сложными в исполнении и не могут быть применены для охлаждения выносных блоков и некоторых приборов. Поэтому наряду с ними используются пассивные СТР, включающие радиаторы терморегулирования и терморегулирующие покрытия, наносимые на различные поверхности, приборы и блоки КА, температуру которых необходимо поддерживать в заданных пределах.

До настоящего времени применяются терморегулирующие покрытия, излучательная способность (ϵ) которых в зависимости от температуры практически не изменяется. Поскольку в космическом пространстве (КП) отвод тепла от КА возможен только излучением, то поддержание температуры поверхностей КА на заданном уровне при деградации интегрального коэффициента поглощения во время полета возможно за счет изменения излучательной способности покрытий в зависимости от температуры.

Соединения типа $Ba_{1-x}A_xTiO_3$ и $BaTi_{1-y}B_yO_3$ обладают фазовыми переходами (ФП), при которых по электрическим свойствам они изменяются от диэлектрического до квазиметаллического состояния. Поскольку излучатель-

ная способность определяется концентрацией носителей заряда, то в области ФП она может изменяться от значений, характерных для металлов, до значений, характерных для диэлектриков, т. е. в пределах от 0,1 до 0,96. Варьируя типом и концентрацией замещающих элементов А или В, а также условиями получения пигментов, принципиально можно управлять фазовыми переходами покрытий, изготовленными на основе таких соединений [1; 2]. В случае нагрева покрытия до температуры ФП, его излучательная способность скачкообразно увеличится, что приведет к увеличению излучаемой энергии и стабилизации температуры. Таким образом, использование таких покрытий позволит стабилизировать температуру и повысить надежность работы систем КА.

Во время орбитального полета КА под действием излучений КП в покрытиях образуются радиационные дефекты и центры поглощения, что приводит к уменьшению коэффициента отражения (ρ) и увеличению интегрального коэффициента поглощения (a_s). Излучательная способность покрытий под действием излучений практически не изменяется, поэтому температура КА, определяемая соотношением $T \sim (a_s/\epsilon)^{0,25}$, будет зависеть от значений a_s покрытия и их устойчивости к воздействию излучений КП.

Целью настоящей работы является исследование спектров диффузного отражения покрытий (состоящих на

75 % из пигмента $\text{Ba}_{0,6}\text{Al}_{0,4}\text{TiO}_3$ или $\text{BaTi}_{0,7}\text{Zr}_{0,3}\text{O}_3$ – титаната бария, модифицированного микро- или нанопорошками Al_2O_3 или ZrO_2 и на 25 % из связующего – лака КО-859) и их стабильности при облучении ускоренными электронами.

Для синтеза пигментов были использованы следующие исходные компоненты: титанат бария (чистота 99,9 %), микропорошки оксида алюминия квалификации ЧТУ 6-09-426-75 и диоксида циркония квалификации ОСЧ марки 9-2, а также нанопорошки Al_2O_3 и ZrO_2 , полученные плазмохимическим способом [3].

Спектры диффузного отражения (ρ_λ) регистрировали в области 360–2100 нм в установке-имитаторе условий КП «Спектр» [4] до и после каждого периода облучения электронами ($E = 30$ кэВ, $\varphi = 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$) в вакууме 10^{-6} тор на месте облучения (in situ).

Из спектров ρ_λ (рис. 1) следует, что коэффициент отражения покрытий на основе порошка BaTiO_3 , модифицированного микропорошками на 5–7 % больше коэффициента отражения покрытий, пигменты которых модифицированы нанопорошками. Такое соотношение выполняется в области $\lambda \leq 630$ нм для покрытий на основе порошка $\text{Ba}_{0,6}\text{Al}_{0,4}\text{TiO}_3$ и по всему спектру для покрытий на основе порошка $\text{BaTi}_{0,7}\text{Zr}_{0,3}\text{O}_3$.

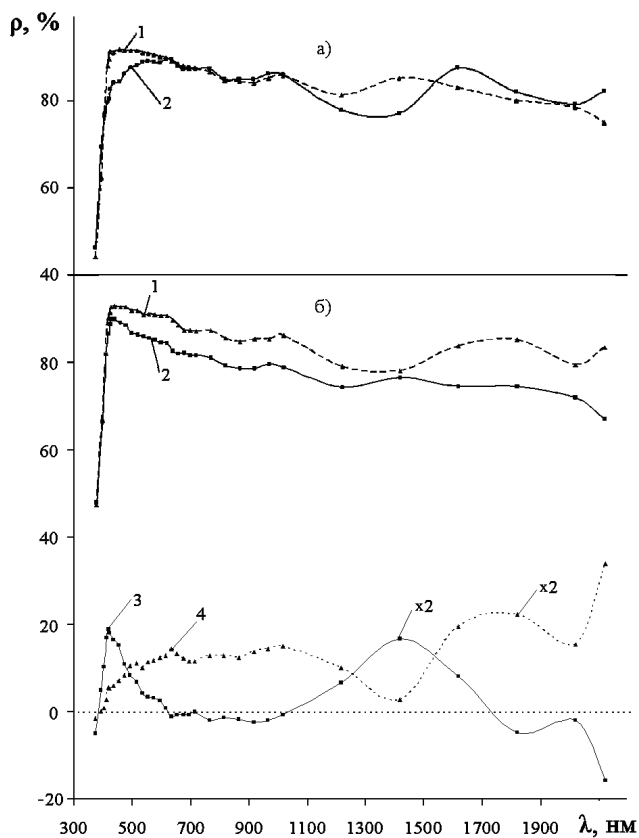


Рис. 1. Спектры диффузного отражения покрытий на основе пигментов $\text{Ba}_{0,6}\text{Al}_{0,4}\text{TiO}_3$ (а) и $\text{BaTi}_{0,7}\text{Zr}_{0,3}\text{O}_3$ (б), модифицированных микропорошками (1) и нанопорошками (2). Разностные спектры диффузного отражения, полученные вычитанием спектров 2 из спектров 1 соединений $\text{Ba}_{0,6}\text{Al}_{0,4}\text{TiO}_3$ (3) и $\text{BaTi}_{0,7}\text{Zr}_{0,3}\text{O}_3$ (4)

Коэффициент a_s , рассчитанный по методике [5], составил 0,142; 0,157; 0,156 и 0,2 для покрытий на основе

пигментов, модифицированных микро- и нанопорошками оксида алюминия, микро- и нанопорошками диоксида циркония соответственно, что позволяет исследуемые покрытия отнести к классу «солнечные отражатели».

После облучения электронами интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения всех типов покрытий увеличивается за счет ухудшения отражательной способности. Из кинетики изменения a_s при облучении покрытий электронами (рис. 2) следует, что радиационная стойкость покрытий на основе пигментов, модифицированных нанопорошками на 10 и 20 % выше по сравнению с покрытиями, модифицированными микропорошками ZrO_2 и Al_2O_3 соответственно. Покрытия на основе титаната бария, модифицированного микро- и нанопорошками диоксида циркония обладают на 19 и 11 % большей радиационной стойкостью, чем покрытия, пигмент которых был модифицирован микро- и нанопорошками оксида алюминия.

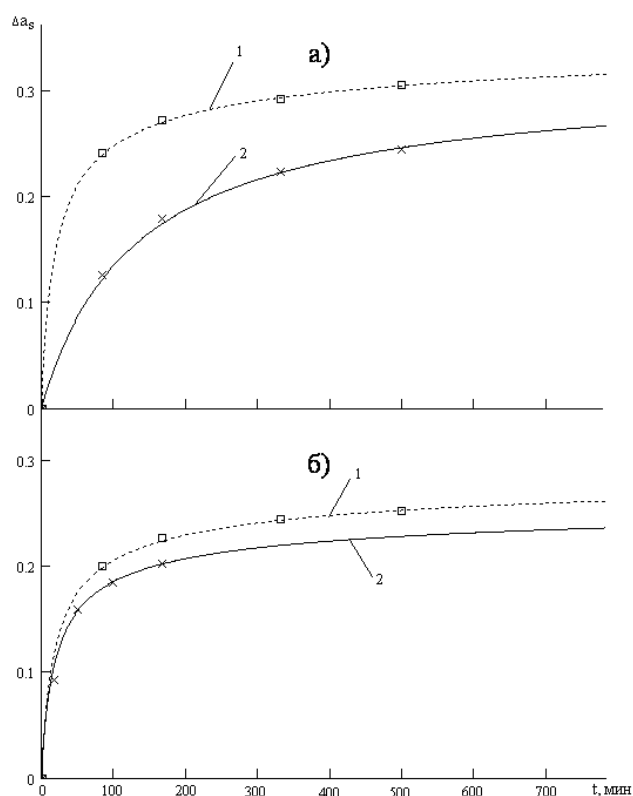


Рис. 2. Зависимость изменений интегрального коэффициента поглощения от времени облучения электронами с энергией 30 кэВ при $\varphi = 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ покрытий на основе пигментов $\text{Ba}_{0,6}\text{Al}_{0,4}\text{TiO}_3$ (а) и $\text{BaTi}_{0,7}\text{Zr}_{0,3}\text{O}_3$ (б) модифицированных микро- (1) и нанопорошками (2)

Выполненные исследования показали, что коэффициент диффузного отражения в области от 360 до 2100 нм покрытий на основе титаната бария, модифицированного нанопорошками, на 5–7 % меньше по сравнению с коэффициентом диффузного отражения покрытий на основе пигментов, модифицированных соответствующими микропорошками. Уменьшение обусловлено большим поглощением собственными точечными дефектами в поверхностном слое нанопорошков, определяемым их большей удельной поверхностью.

Радиационная стойкость покрытий на основе порошков титаната бария, модифицированных нанопорошками, до 20 % больше по сравнению с радиационной стойкостью покрытий на основе порошков BaTiO_3 , модифицированных микропорошками. Увеличение радиационной стойкости определяется релаксацией электронных возбуждений на поверхности наночастиц и меньшей концентрацией образованных центров поглощения.

Таким образом установлено, что модифицирование пигментов на основе титаната бария нанопорошками Al_2O_3 и ZrO_2 вместо соответствующих микропорошков является достаточно эффективным методом повышения радиационной стойкости термостабилизирующих покрытий, изготавливаемых на их основе.

Библиографические ссылки

1. Михайлов М. М., Соколовский А. Н. Пигменты для термостабилизирующих покрытий // Известия вузов. Физика. 2007. № 12. С. 90–91.
2. Elektronical properties of $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ on $(\text{Sr}, \text{Ca})\text{RuO}_3$ electrode / Seung Yong San [et al.] // J. Mater. Sci. 1999. Vol. 34. P. 6115–6119.
3. Ларин В. К., Кондаков В. М., Дедов Н. В. Плазмохимический способ получения ультрадисперсных (нано) порошков оксидов металлов и перспективы их применения // Известия вузов. Цветная металлургия. 2003. № 5. С. 59–64.
4. Установка для исследования спектров диффузного отражения и люминесценции твердых тел в вакууме / Л. Г. Косичин [и др.] // ПТЭ. 1985. № 4. С. 176–180.
5. Johnson F. S. The solar constant // J. Metrological. 1954. Vol. 11. № 6. P. 431–439.

M. M. Mikhailov, A. N. Lapin

RADIATION RESISTANCE OF THERMO STABILIZING BARIUM TITANATE COATINGS FOR SPACE AIRCRAFTS

Comparative analysis of diffuse reflectance spectra, integral absorption factors and their change after electron irradiation ($E = 30 \text{ keV}$) for barium titanate coatings doped with aluminum oxide and zirconium oxide ($\text{Ba}_{0.6}\text{Al}_{0.4}\text{TiO}_3$ and $\text{BaTi}_{0.7}\text{Zr}_{0.3}\text{O}_3$) was carried out. It was found out that the use of Al_2O_3 and ZrO_2 nano powders instead of micro powders for doping BaTiO_3 increases radiation resistance of the coatings.

Keywords: barium titanate, reflectance spectra, radiation resistance, coatings, nano powders.

© Михайлов М. М., Лепин А. Н., 2010

УДК 538.971

А. С. Паршин, Г. А. Александрова, О. П. Вайтузин, Е. П. Березицкая,
Р. Е. Тихомиров, А. А. Чернятина, В. А. Харламов, Р. А. Ермолаев, В. В. Миронович

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОПОКРЫТИЙ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ*

Представлены результаты исследования топографии поверхности радиопрозрачных терморегулирующих покрытий методом атомно-силовой микроскопии.

Ключевые слова: радиопрозрачное терморегулирующее покрытие, атомно-силовая микроскопия.

При движении космического аппарата (КА) по орбите происходит изменение освещенности Солнцем элементов антенн, что приводит к колебаниям температуры элементов антенн в пределах до $\pm 140^\circ\text{C}$. Это способно вызывать деформации рефлекторов и излучателей антенн и изменение диаграммы направленности электромагнитного излучения антенны КА. Для выполнения требований по температурным деформациям, предъявляемых к

антеннам ($\leq 0,25 \text{ мм}$), необходимо уменьшение перепада температур по поверхности элементов антенн.

Эффективным способом уменьшения перепада температур на конструкции антенны является использование светоотражающего терморегулирующего экрана из радиопрозрачного материала. Температурный режим покрытия экрана обеспечивается отношением коэффициента поглощения солнечного излучения освещенной

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (номер контракта П590).

поверхности A_s к коэффициенту излучения ϵ . Чем меньше это отношение, тем эффективнее работает покрытие класса «солнечный отражатель».

Кроме электромагнитного излучения Солнца, на внешнюю поверхность космических аппаратов воздействует корпускулярное излучение – потоки электронов и протонов радиационных поясов Земли (РПЗ). Под их действием на диэлектрических поверхностях космических аппаратов скапливается неоднородный электростатический заряд. Периодически между областями поверхности с разными электрическими потенциалами происходят разряды, способствующие ухудшению характеристик оптических поверхностей и вызывающие помехи или даже сбои бортовой электронной аппаратуры [1–5]. Для защиты от электризации необходимо нанесение на внешнюю поверхность покрытия радиопрозрачных электропроводных слоев, не ухудшающих характеристики A_s и ϵ покрытия.

Решение проблем электризации, повышения стабильности свойств терморегулирующих материалов (ТРМ) и разработка перспективных радиотехнических защитных материалов входит в задачи Федеральной космической программы России на период до 2015 г. и в планы работ ведущих предприятий космической отрасли, что подтверждает актуальность настоящей работы, результаты которой направлены на исследование свойств и технологических процессов изготовления многофункциональных композитных покрытий с наноразмерными рабочими слоями для КА с длительным сроком службы.

Применявшиеся ранее светозащитные экраны из нескольких слоев стеклоткани имеют большую массу (~300 г/м²), выделяют частицы (стекловолокно), сорбируют и выделяют загрязнения, накапливают электростатический заряд.

В качестве перспективного материала светозащитных экранов может быть использовано покрытие на основе радиационностойкой полимерной пленки с напыленным на нее полупроводниковым материалом с высоким показателем преломления ($n > 3$) и высоким электрическим сопротивлением (~10⁷ Ом).

В отечественной технике аналогичных покрытий нет. За аналог может быть принят радиопрозрачный терморегулирующий материал фирмы Alenia, представляющий собой полиимидную пленку (каптон), толщиной 25 мкм, напыленную германием.

Среди серийно выпускаемых в России полимерных пленок наибольшей радиационной и термостойкостью обладает полиимидная пленка. Полиимидные пленки марок ПМ и ПМ-1ЭУ толщиной 40 и 20 мкм, удовлетворяют требованиям к светозащитным экранам антенн по радиопрозрачности (радиопоглощение менее 0,1 дБ в рабочем диапазоне частот). Нанесение германия на полиимидную пленку методом термического испарения в вакууме позволило получить образцы покрытий с характеристиками:

- оптические $A_s = 0,40–0,50$; $E_n = 0,62–0,75$;
- потери радиоионизации менее 0,1 дБ;
- поверхностное сопротивление $\rho_s = 2 \cdot 10^8–1 \cdot 10^9$ Ом/квadrat поверхности.

Данные характеристики соответствуют требованиям к светозащитным экранам. Однако величина поверхностного сопротивления германиевого покрытия превышает

максимальное значение сопротивления, рекомендуемое для обеспечения снятия электростатического заряда $1 \cdot 10^8$ Ом/квadrat поверхности [2]. Согласно литературным данным и опыту работы с аналогичными полупроводниковыми покрытиями во время хранения происходит увеличение поверхностного сопротивления. Применение дополнительных электропроводящих слоев позволит уменьшить начальное сопротивление и сохранить требуемое сопротивление при хранении и эксплуатации материала. В качестве такого электропроводящего слоя может быть использован оксид индия.

Опробовано изготовление образцов германиевого покрытия с подслоем на основе оксидных полупроводников (прозрачное электропроводное покрытие (ПЭП)) методом термического испарения и реактивного магнетронного распыления.

В результате достигнуто поверхностное сопротивление $\rho_s = 1 \cdot 10^7–1 \cdot 10^8$ Ом/квadrat поверхности, чего достаточно для эффективного снятия накопленного электростатического заряда, и что не вызывает снижения радиопрозрачности покрытия.

В отработке технологии получения таких покрытий большую роль играют методы исследования свойств полученных материалов, в частности, методы исследования поверхности покрытия. Одними из наиболее современных и широко используемых методов в настоящее время являются методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), которые позволяют визуализировать, диагностировать и модифицировать вещество с нанометровым уровнем пространственного разрешения [6]. Среди методов СЗМ можно особо выделить атомно-силовую микроскопию (АСМ), с помощью которой стало возможным изучать свойства не только проводящих, но и диэлектрических материалов. В представленной работе методом АСМ изучена топология поверхности радиопрозрачных терморегулирующих покрытий для КА.

Результаты исследования микрорельефа поверхности радиопрозрачных терморегулирующих покрытий методом АСМ. Проведено исследование микрорельефа поверхности многослойного радиопрозрачного терморегулирующего покрытия, содержащего функциональные слои германия и ПЭП. Образец представлял собой структуру, состоящую из полиимидной пленки (подложки) толщиной 40 мкм с напыленным на нее с одной стороны подслоем ПЭП и слоем германия (лицевая сторона покрытия), с другой стороны – только слоем германия (тыльная сторона покрытия). Схема поперечного сечения исследуемого образца приведена на рис. 1.

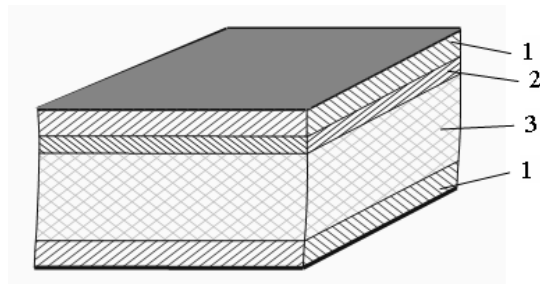


Рис. 1. Схема поперечного сечения исследуемого образца:
1 – германий; 2 – слой ПЭП; 3 – полиимидная пленка

Визуально сторона образца с подслоем ПЭП материала более гладкая и блестящая. Поверхность обратной стороны матовая. Исследование рельефа поверхности проводилось с обеих сторон в нескольких областях в зависимости от удаления от края образца. Также была изучена поверхность полиимидной подложки. Исследования проводились на сканирующей зондовой нанолaborатории ИНТЕГРА-аура методом атомно-силовой микроскопии в полуконтактном режиме.

Полученные АСМ-изображения, отражающие топографию поверхности полиимидной подложки, представлены на рис. 2, 3. Размер сканируемой области $10 \cdot 10$ мкм. Светлым цветом показаны более высокие участки поверхности, темные тона соответствуют более низким областям рельефа. Цветовая шкала высот приведена справа от 2D-изображения.

Видно, что одна сторона полиимидной пленки более гладкая, чем другая (рис. 3). Перепад высот на этой стороне составляет значение около 5 нм. Другая сторона подложки (рис. 2) имеет волнистую структуру, средняя высота которой ~ 40 нм.

Топографию поверхности германиевого покрытия, нанесенного на полиимидную подложку, отражает АСМ-изображение (рис. 4). Как видно, рельеф поверхности на данной площади также представлен волнистой структурой с высотой, достигающей 30 нм. Подобная волнистая

структура на этой стороне образца наблюдалась и на двух других исследованных областях.

Изображения, полученные на поверхности германия с промежуточным слоем ПЭП, существенно отличаются от изображений поверхности германия без подслоя (рис. 5). Здесь не существует каких-либо особенностей, поверхность довольно гладкая, а перепад высот в данной области сканирования составляет всего 5 нм.

Все полученные АСМ-изображения были обработаны с помощью модуля обработки изображений программы NOVA. Для каждой области сканирования была определена шероховатость поверхности. Средняя шероховатость (R) вычисляется по формуле

$$R = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} |z(x_k, y_l) - \text{Average}|, \quad (1)$$

где Average – средняя высота, которая определяется по выражению

$$\text{Average} = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} z(x_k, y_l), \quad (2)$$

где M, N – число точек; x, y – координаты в плоскости изображения.

Численные значения шероховатости исследуемого образца для каждой исследованной области представлены в таблице.

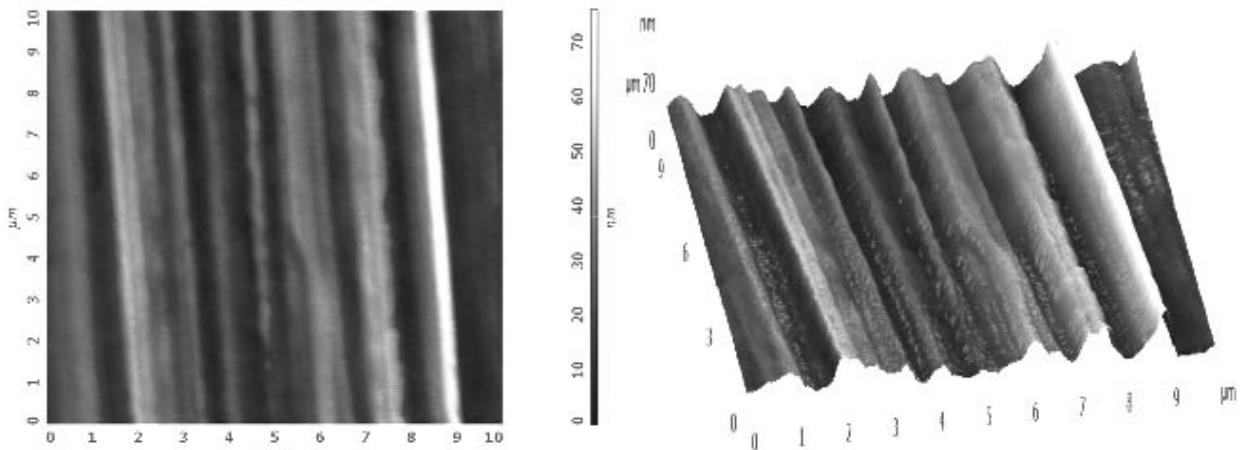


Рис. 2. АСМ-изображение поверхности полиимидной подложки с тыльной стороны в двумерном (слева) и трехмерном (справа) виде

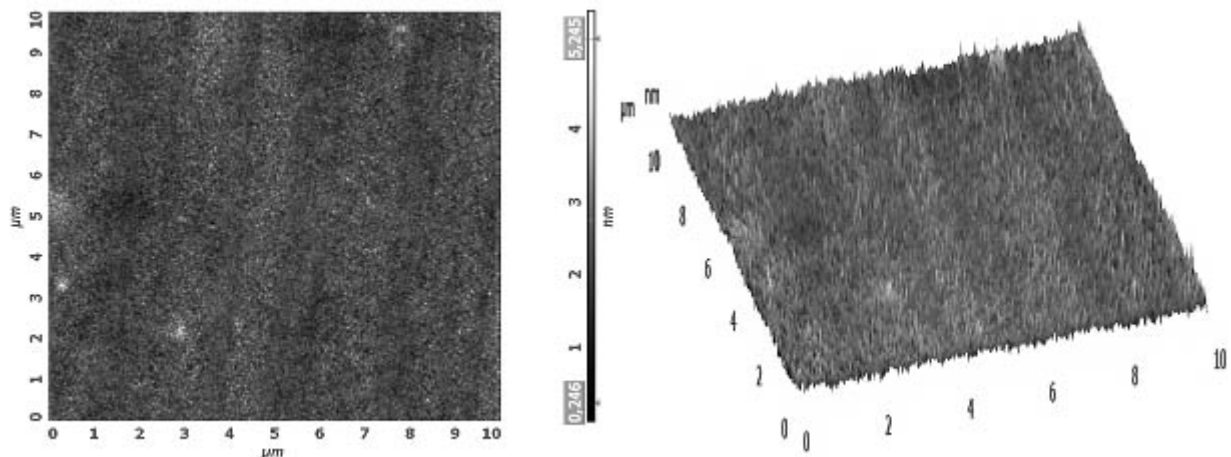


Рис. 3. АСМ-изображение поверхности полиимидной подложки с лицевой стороны в двумерном (слева) и трехмерном (справа) виде

Как и следовало ожидать, шероховатость поверхности подложки с тыльной стороны пленки существенно больше шероховатости поверхности лицевой стороны. В таблице показано, что эти значения отличаются более чем на порядок. Та же самая зависимость наблюдается и на образцах с нанесенным покрытием. Несмотря на то, что шероховатость на тыльной стороне здесь несколько меньше шероховатости подложки, она также более чем на порядок превышает шероховатость лицевой стороны образца с подслоем ПЭП. Значения шероховатости покрытия с подслоем ПЭП для всех рассмотренных областей совпадают с шероховатостью подложки.

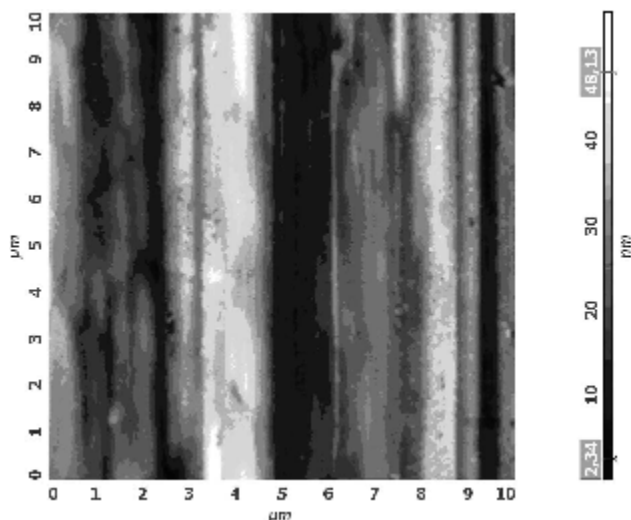


Рис. 4. АСМ-изображение поверхности образца с тыльной стороны покрытия

Таким образом, можно сказать, что наблюдаемые особенности рельефа исследуемых покрытий являются следствием повторения осаждаемой пленки рельефа подложки. Наблюдаемые различия топологии покрытия и подложки на волнистой стороне, в частности в значениях шероховатости, обусловлены заполнением осаждаемым материалом впадин подложки, поэтому шероховатость поверхности покрытия меньше чем шероховатость подложки.

В дальнейшем планируется проведение исследований влияния шероховатости поверхности подложки на стабильность оптических, электрических и адгезионных свойств покрытия при различных внешних воздействиях.

В ходе экспериментальных исследований методом сканирующей атомно-силовой микроскопии исследована поверхность многослойных покрытий. Показано, что микрорельеф поверхности покрытия сильно зависит от микрорельефа исходной поверхности подложки, поэтому для определения микроструктуры покрытия необхо-

димо тщательное изучение поверхности подложек перед нанесением покрытий.

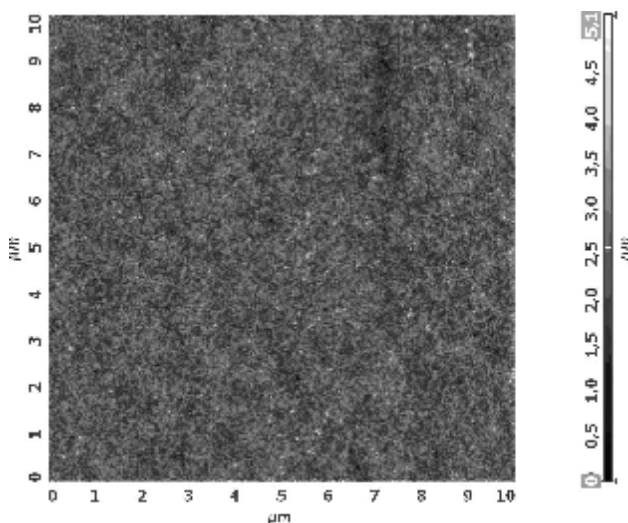


Рис. 5. АСМ-изображение поверхности образца с лицевой стороны покрытия

Полученные результаты будут использованы при разработке и конструкторско-технологической отработке радиопрозрачного терморегулирующего покрытия, наноразмерных электропроводных покрытий различного назначения, в том числе защитных, терморегулирующих и радиотехнических покрытий для космических аппаратов.

Библиографические ссылки

1. Чернявский Г. М., Графодатский О. С., Козлов А. Г. Анализ сбоя бортовой РЭА геостационарных спутников связи. М. : ЦНТИ «Поиск». СИП, 1981. Сер. 1. № 12.
2. Графодатский О. С., Ислаев Ш. Н. Взаимодействие спутников связи с окружающей средой. Томск : МГП «РАСКО», 1993.
3. Garret H. B. Review of the near-earth spacecraft environment // Optics in adverse environments : Proceedings of the Seminar (Febr. 4, 5. 1980. Los Angeles) (A81-32422 14-19) ; Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers ; Bellingham, 1980. P. 109–115.
4. Grard R., Knott K., Pedersen A. Spacecraft charging effects // Space Science Reviews. 1983. Vol. 34. № 3. P. 289–304.
5. Bosma J. Optical solar reflectors technology – recent development and problems // Spacecraft materials. Sp. Environ (Jun. 8–11 1983 Toulouse). Paris, 1983. P. 1–32.
6. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М. : Техносфера, 2005.

Значения средней шероховатости для различных областей образца (S – расстояние исследуемой области от края)

№	S , см	R , нм	
		Ge	ПЭП + Ge
1	4,5	8,3	0,4
2	7,5	5,0	0,4
3	11,5	4,8	0,4
Полиимидная подложка		10,5	0,4

A. S. Parshin, G. A. Alexandrova, O. P. Vaituzin, E. P. Berezitskaya,
R. E. Tikhomirov, A. A. Chernyatina, V. A. Kharlamov, R. A. Ermolaev, V. V. Mironovich

RESEARCH OF MULTIPURPOSE NANOCOATINGS FOR SPACECRAFTS BY METHOD OF SCANNING PROBE MICROSCOPY

This work is devoted to research of topography of a surface of radiotransparent thermoregulating coatings by a method of Atomic Force Microscopy.

Keywords: radiotransparent, thermoregulating coatings, atomic force microscopy.

© Паршин А. С., Александрова Г. А., Вайтузин О. П., Березицкая Е. П.,
Тихомиров Р. Е., Чернятина А. А., Харламов В. А., Ермолаев Р. А., Миронович В. В., 2010

УДК 621.38

Л. И. Оборина, Б. Н. Исмаилов, И. В. Стерехов, И. В. Трифанов

ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБ ВОЛНОВОДОВ КВЧ-ДИАПАЗОНА

Представлены результаты дилатометрического определения температурного коэффициента линейного расширения после изготовления волноводов из сплава 32 НКД.

Ключевые слова: температурный коэффициент линейного расширения, волноводы, дилатометрические исследования, пластические деформации.

Для изготовления полосовых фильтров диапазона крайне высоких частот с требуемыми рабочими характеристиками необходимо использовать материалы с низким температурным коэффициентом линейного расширения ТКЛР $(1 \div 2) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ в диапазоне рабочих температур [1]. Таким требованиям может отвечать сплав 32 НКД и др. (см. таблицу). Температурный коэффициент линейного расширения связан с упругостью металлов E , а также зависит от строения кристаллической решетки металлов [2]. Для металлов ГЦК (гранецентрированная решетка) и ОЦК (объемцентрированная решетка) решетками выполняется зависимость

$$\alpha V = K \chi_T, \quad (1)$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения; V – объем; χ_T – коэффициент изометрической сжимаемости; K – константа Больцмана.

Лучшей характеристикой по α обладает сплав 32 НКД.

Известно, что температурный коэффициент линейного расширения зависит от ряда факторов, например, от пластической деформации. Влияние пластической деформации на коэффициент температурного расширения описывается соотношением

$$\alpha = \alpha_0 (1 + A \epsilon), \quad (2)$$

где α_0 – коэффициент расширения недеформированного металла.

Коэффициент A рассчитывается по формуле

$$A = \chi_T E \gamma / 3, \quad (3)$$

где E – модуль упругости; γ – параметр Грюнайзена; ϵ – степень деформации.

Параметр Грюнайзена может быть представлен следующим образом:

$$\gamma = \frac{\partial \ln \theta}{\partial \ln V}, \quad (4)$$

где θ – температура Дебая; V – объем.

Параметр γ слабо зависит от температуры, однако значение A в выражении (3) для ряда металлов находится в пределах $1,3 \dots 2,3$.

Из этого следует, что деформация увеличивает коэффициент термического расширения металлов. При многостороннем деформировании труб волноводов малого сечения изготавливаемых из сплава 32 НКД возникают напряжения в каждом сечении очага деформации при обжатии заготовки роликовой фильерой (рис. 1, 2).

Основные характеристики сплавов с низким температурным коэффициентом линейного расширения

Сплав	$\alpha_{\text{ср}} \cdot 10^5, K^{-1}$ ($20 \div 100^\circ\text{C}$)	Точка Кюри, $^\circ\text{C}$	ρ , мкОм	E , МПа	σ_B , МПа	δ , %	H_C , А/м
36Н	1,5	220	0,82	14800	447	45	12,7
32НКД	1	220	0,78	14100	451	41	12,7
35НКТ	3,5	210	0,85	–	1110	17,5	15,1

В процессе изготовления волноводов КВЧ-диапазона из сплава 32НКД методом многостороннего деформирования напряжения δ_z в каждом сечении зависят от координаты z и определяется в общем виде по формуле [3]

$$\delta_z = T_g(z) / F(z), \quad (5)$$

где $F(z)$ – площадь поперечного сечения прямоугольной трубы волновода; $T_g(z)$ – усилие протягивания.

Для расчета δ_z при напряженно-деформированном состоянии трубы волновода сечением $5,2 \times 2,6$ мм и $3,6 \times 1,8$ мм было использовано дифференциальное уравнение равновесия [4]

$$\frac{d\delta_z}{dz} + \delta_z \left(c + \frac{dh}{dz} \right) = f c (\varepsilon_z - \varepsilon_y),$$

где

$$c = \frac{1 - 0,5 K_{\text{тр}}^{\text{д}} (dh/dz)}{1 + 1,5 K_{\text{тр}}^{\text{б}} (dh/dz)} \cdot \left[K_{\text{тр}}^{\text{б}} - \frac{dh}{dz} \right] - K_{\text{тр}}^{\text{д}}, \quad (6)$$

$$\frac{dh}{dz} = \frac{Z}{\sqrt{R^2 - Z^2}},$$

где $f = \delta_i / \varepsilon_i$ – функция пластичности; ε_i – функция пластичности деформации; δ_i – функция пластичности напряжения; $h(z)$ – высота сечения трубы волновода; Z – участок давления со стороны ролика на трубу волновода; $K_{\text{тр}}^{\text{д}}$ и $K_{\text{тр}}^{\text{б}}$ – коэффициенты трения в парах «трубчатая заготовка – инструмент (дорн)» и «ролик фильеры – трубчатая заготовка»; R – радиус роликовой фильеры. Модель участка деформируемой зоны d_z трубы, которая была принята для расчета напряжений в зоне деформации (6), изображена на рис. 1.

Для уравнения (6) поставим следующие краевые условия: $h(0) = 1$; $\delta_z(0) = K$, причем расчеты выполнены для всех K от 400 до 880 МПа.

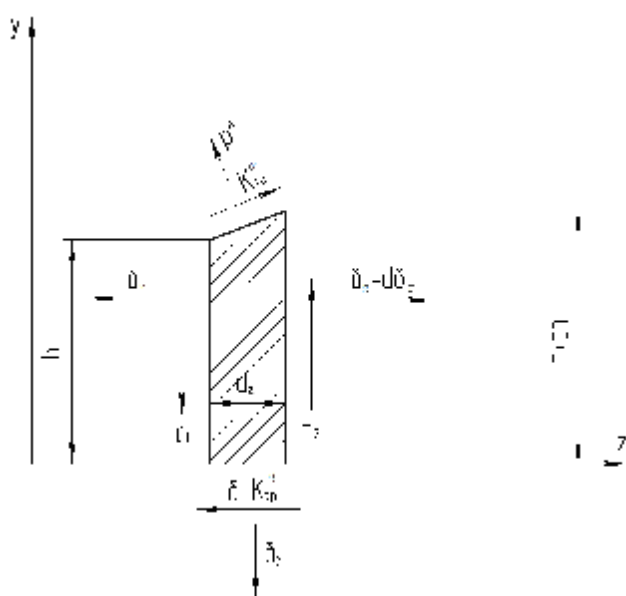


Рис. 1. Схема участка деформируемой зоны трубы волновода: τ_1, τ_2 – касательные напряжения; δ_z – напряжения в каждом сечении; h – высота сечения трубы волновода; dH – величина обжатия

Схема процесса изготовления труб волноводов показана на рис. 2 [4].

Выполненные расчеты по определению напряжений в сечениях очага деформации волновода (6) показали, что δ_z зависит от усилий обжатия и координаты очага деформации волноводов сечением $3,6 \times 1,8$ мм и $5,2 \times 2,6$ мм и носит нелинейный характер (рис. 3). Расчетным путем было установлено, что при изготовлении волноводов сечением $3,6 \times 1,8$ мм напряжение в центре деформации достигало 880 МПа, а для волноводов сечением $5,2 \times 2,6$ мм – 400 МПа. Расчеты проводились по разработанной нами программе Volnovod-T.

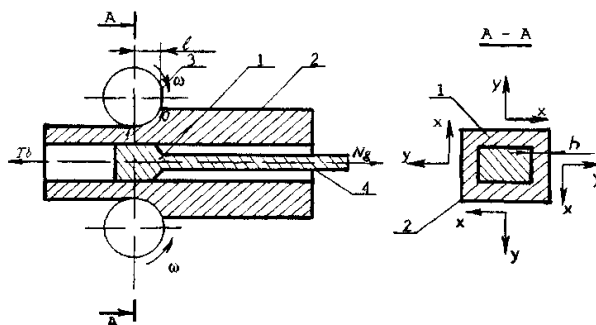


Рис. 2. Схема процесса изготовления труб волноводов, применяемая для расчета напряжений в зоне деформации: 1 – инструмент-дорн; 2 – трубчатая заготовка; 3 – ролики регулируемой четырехроликовой фильеры; 4 – хвостик инструмента-дорна

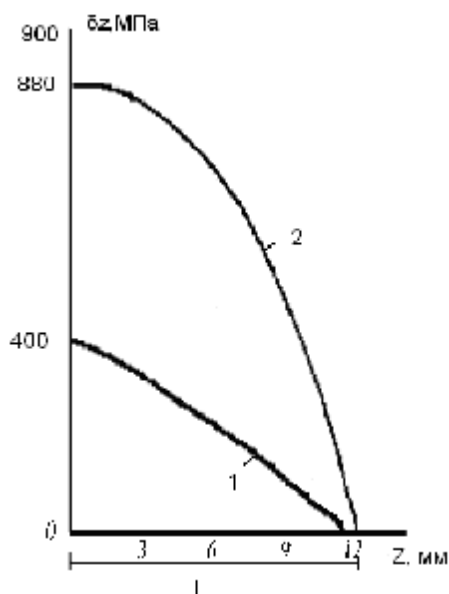


Рис. 3. Напряжение δ_z в сечении очага деформации: 1 – для волновода сечением $5,2 \times 2,6$ мм; 2 – для волновода сечением $3,6 \times 1,8$ мм

После изготовления волноводов сечением $5,2 \times 2,6$ мм и $3,6 \times 1,8$ мм из сплава 32 НКД методом многостороннего деформирования исследовали температурный коэффициент линейного расширения. Для этого использовался индуктивный dilatометр DIL – 402 С фирмы Netzch с программным обеспечением Windows™, включающий все необходимое для выполнения измерений и расчета экспериментальных данных. Калибровку dilatометра осуществляли корундовым стандартом фирмы Netzch. Измеряемые образцы имели размер $25 \pm 0,05$ мм, толщину

стенки 1 мм. Измерение ТКЛР проводилось со скоростью 5 К/мин в интервале температур 30–160 °С в атмосфере инертного газа, для исключения окисления образцов при нагревании. Принципиальная схема dilatометра DIL 402 C представлена на рис. 4.

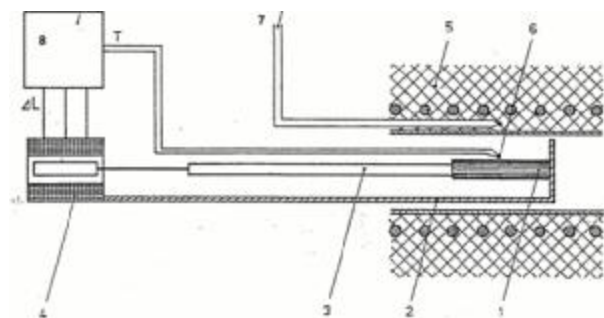


Рис. 4. Принципиальная схема dilatометра DIL 402C (Netzsch): 1 – образец волновода; 2 – трубчатый держатель; 3 – толкатель; 4 – индуктивный датчик перемещения; 5 – печь; 6 – термопара образца; 7 – термопара печи; 8 – цифро-аналоговый преобразователь сигналов

Образец 1 находился в гомогенной области температурного поля печи 5. Печь нагревалась и охлаждалась по заданной программе. Управление температурой печи осуществлялось термопарой 7. Температура образца измерялась термопарой 6. Через толкатель 3 изменение длины механически передавалось на индуктивный датчик смещения длины 4, с цифрового аналогового преобразователя подавался сигнал на компьютер, где производилась обработка информации и построение графиков $\alpha = f(T)$; $L/L_0 = f(T)$.

Графики dilatометрических исследований температурного коэффициента линейного расширения и относительного линейного расширения, полученные после изготовления волноводов сечения $5,2 \times 2,6$ мм и $3,6 \times 1,8$ мм методом многостороннего деформирования, представлены на рис. 5. Графики 1 и 3, 2 и 4 показывают, что относительное удлинение dL/L и температурный коэффициент температурного расширения α у волновода сечением $3,6 \times 1,8$ мм существенно выше, чем у волновода сечением $5,2 \times 2,6$ мм.

Изменение α (кривая 1) для волновода сечением $5,2 \times 2,6$ мм в сторону отрицательных значений, а затем в сторону положительных значений вероятно связано с пластической деформацией и релаксацией дефектов кристаллической решетки. В диапазоне $100 \div 140$ °С α изменяется более быстро в сторону увеличения, достигая $1,75 \cdot 10^{-6}$ 1/°С.

Для волновода малого сечения $3,6 \times 1,8$ мм α растет более интенсивно и достигает значения $3,8 \cdot 10^{-6}$ 1/°С при $T = 140$ °С. Это увеличение связано с большей деформацией волновода сечением $3,6 \times 1,8$ мм ($\sigma_z = 880$ МПа), чем для волновода сечением $5,2 \times 2,6$ мм ($\sigma_z = 400$ МПа) при обжатии $\Delta = 0,15$ мм во время изготовления многосторонним деформированием.

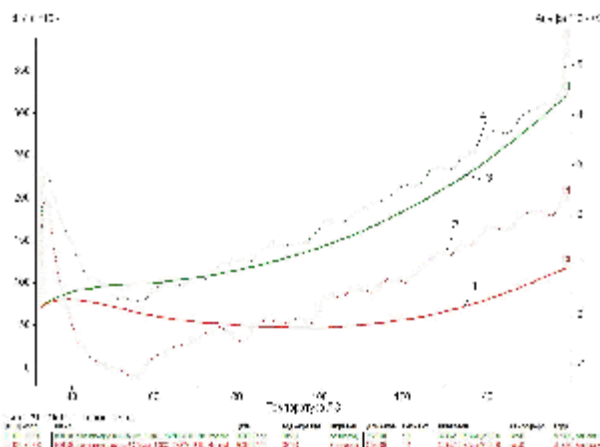


Рис. 5. Зависимости коэффициента линейного расширения волноводов α и относительного линейного удельного расширения dL/L_0 : 1, 3 – α для волноводов сечением $5,2 \times 2,6$ мм и $3,6 \times 1,8$ мм; 2, 4 – dL/L_0 для волноводов сечением $5,2 \times 2,6$ мм и $3,6 \times 1,8$ мм

Таким образом, при изготовлении волноводов КВЧ-диапазона методом многостороннего деформирования рекомендуемое напряжение $\sigma_z \leq 400$ МПа для обеспечения $\alpha = 1 \div 2 \cdot 10^{-6}$ 1/°С. Рациональный рабочий диапазон для использования волноводов $T = 20 \div 100$ °С.

Библиографические ссылки

1. Григорьев А. Д. Электродинамика и техника СВЧ : учеб. пособие для вузов. М. : Высш. шк., 1990. С. 78.
2. Материалы из металлических порошков с заданным температурным коэффициентом линейного расширения РД 107.460094.1179–89.
3. Малинин Н. Н. Технологические задачи пластичности и ползучести. М. : Высш. шк., 1979. С. 20–56.
4. Трифанов И. В., Бабкина Л. А., Щербак Г. А. Технологические особенности создания элементной базы антенно-фидерных устройств // Вестник Сиб. аэрокосмич. акад. под ред. Г. П. Белякова ; Сиб. аэрокосмич. акад. Красноярск, 1999. С. 109–116.

L. I. Oborina, B. N. Ismajlov, I. V. Sterekhov, I. V. Trifanov

DILATOMETRIC RESEARCH OF PHYSICAL PARAMETERS OF WAVEGUIDES EHF-BAND PIPES

The results of dilatometric determination of linear expansion temperature coefficient are presented after the waveguides made of 32 SIDS alloy have been produced.

Keywords: temperature coefficient of linear expansion, waveguides, dilatometric research, the plastic deformation.

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

В отечественной экономике в настоящее время укрепляются такие же тенденции современного экономического развития, которые набирают силу в развитых странах: глобализация, опережающее развитие сферы услуг, формирование постиндустриального общества, увеличение интеллектуальной составляющей в результатах любого производства, информатизация общества, исчерпание традиционных источников социально-экономического роста. В этих условиях все более актуальным становится поиск новых путей и факторов регионального саморазвития.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие территорий, региональная экономика.

В последние годы в России увеличивается самостоятельность регионов, которые несут все большую ответственность за результаты своего экономического развития. Их социально-экономическое состояние определяется как объективными факторами (макроэкономические условия, положение региона в общественном разделении труда, производственная структура, географическое положение, природные ресурсы), так и субъективными, в первую очередь – методами регионального управления. Экономические реформы показали, что регионы, применяющие прогрессивные методы управления своим развитием, в меньшей степени подвержены кризисным тенденциям.

Стратегия регионального развития государства не является однородной по отношению к регионам, его формирующим, что обусловлено существенными различиями регионов в области обеспеченности ресурсами, структуры хозяйства, достигнутого уровня развития различных сфер экономики. Поэтому данная стратегия, формируя основные цели и задачи развития на конкретный период времени, становится основой для разработки сбалансированных между собой стратегий экономического развития регионов, которые рассматриваются как система мероприятий, направленных на реализацию долгосрочных задач социально-экономического развития государства. При этом следует учитывать рациональный вклад регионов в решение этих задач, определяемый реальными предпосылками и ограничениями их развития. Стратегия экономического развития регионов представляет собой общее направление достижения целей, которое можно воплотить в тактических действиях и программах, способствующих развитию регионов в нужном направлении.

При анализе качества регионального развития часто используют концепцию теории стадий роста, согласно которой экономическое развитие проходит через три стадии: доиндустриальную, индустриальную и постиндустриальную. Доминирующими отраслями доиндустриального развития являются добывающие отрасли, сельское хозяйство, рыбная, лесная, горно-добывающая промышленность. В индустриальной стадии доминируют перерабатывающие отрасли: машиностроение, химическая, лесная и деревообрабатывающая, легкая, пищевая промышленность и пр. В постиндустриальной стадии основными отраслями становятся виды нематериального производства: наука, образование, торговля, финансы, страхование, здравоохранение и др. Характерными чертами

постиндустриального общества являются относительное падение производства товаров и увеличение производства услуг, рост наукоемкости производства, повышение уровня квалификации персонала.

В России в настоящее время происходят два противоположных по направленности процесса: деиндустриализация и рост удельного веса сектора услуг. Первая тенденция проявляется в падении удельного веса перерабатывающих производств с одновременным укреплением добывающих. Так, в первые годы экономических реформ в стране особое положение сложилось в сырьевых отраслях. Именно экспорт нефти, газа, черных, цветных металлов и леса обеспечивал основную массу валютных поступлений и не давал окончательно разрушиться всему промышленному потенциалу страны. Эта тенденция является отчасти вынужденной и с точки зрения перспектив развития отечественной экономики носит негативный характер, так как смещает общество с индустриальной стадии развития на доиндустриальную, что свидетельствует не о прогрессе, а о регрессе. В то же время в российской экономике происходит рост удельного веса услуг, торговли, финансовых учреждений, что характерно для постиндустриальной стадии развития общества. Для оценки глубины этих направлений важна характеристика не только производственной структуры, занятости, инвестиций, но и степени распространенности информационных технологий.

Обострение проблем общего регионального развития России связано с неоправданной неравномерностью социально-экономического положения регионов, что требует поддержания экологического равновесия, совершенствования территориальной структуры хозяйства, обеспечения занятости населения. Поэтому необходимо использование на практике новых эффективных методов воздействия на экономику, в частности программно-целевого прогнозирования, которое позволяет в сжатые сроки решать стратегические проблемы развития отдельных районов в соответствии с единой региональной политикой государства.

Региональные программы представляют собой разновидность целевых комплексных программ и служат инструментом регулирования и управления региональной стратегией экономического, социального и научно-технического развития, способом приоритетной концентрации ресурсов для решения неотложных, первоочередных проблем. Различают следующие виды региональных про-

грамм: межгосударственные, федеральные, региональные, формируемые по производственному признаку и комплексные. Узкоспециализированные программы, как правило, разрабатываются в составе целевых федеральных программ. В комплексные программы социально-экономического развития регионов включаются все узкоспециализированные программы, среди которых значительный удельный вес занимают программы социальной ориентации. Такие программы по соответствующему региону позволяют произвести увязку всех узкоспециализированных программ по потребностям в разных видах ресурсов и определить приоритетность их решения по срокам.

Региональные программы классифицируются по территориальной принадлежности, функциональной ориентации, содержанию решаемых проблем, масштабности программной задачи, отраслевой локализации, характеру возникновения проблем и др. Выделение признаков и соответствующих им классов программ служит условием поиска общих закономерностей в процессе их формирования и реализации. Классификационные признаки отражают содержание проблемы, характеризуют объекты программ, особенности управления ими, при этом региональная программа может характеризоваться одновременно несколькими классификационными признаками. К основным задачам региональных программ относятся следующие:

- формирование оптимальной территориальной и отраслевой структуры экономики;
- выравнивание межрайонных различий по показателям экономического, социального и научно-технического развития;
- эффективное использование природных, материальных и трудовых ресурсов региона;
- охрана окружающей среды;
- преодоление последствий стихийных бедствий и техногенных аварий;
- духовное возрождение регионов, сохранение их исторического наследия, укрепление культурного потенциала, стабилизация общественно-политической и правовой обстановки.

Процесс отбора территориальных проблем, подлежащих решению на программной основе, включает в себя три этапа:

1. Рассмотрение региональных проблем, требующих решения, при этом предусматриваются следующие процедуры:

- комплексное изучение принятой концепции и прогнозов функционирования экономики региона;
- анализ складывающейся социально-экономической ситуации (экономический потенциал, внутренние и внешние тенденции развития, динамика товарного рынка, движение основных фондов производства, конъюнктура межрегиональных связей и внешней торговли, уровень удовлетворения различных потребностей и др.);
- определение факторов, порождающих проблемные ситуации;
- выделение и описание проблем, требующих неотложного решения.

2. Обоснование возможности решения проблем программным методом:

– разработка рекомендаций об объективной возможности использования программно-целевого метода через выявление наличия у проблем программных признаков, т. е. конечности во времени реализации, определение проблемного объекта и др.;

– анализ преимуществ и недостатков использования программного метода для устранения выявленных проблемных ситуаций применительно к условиям региона.

3. Независимую экспертную оценку целесообразности решения проблем программным методом, которая содержит следующие процедуры:

- предварительную ресурсную оценку каждой из предлагаемых к решению проблем с позиции потребности различных ресурсов;
- определение наличия ресурсных возможностей региона и сопоставление их с потребностями для решения выявленных проблем;
- определение экономической эффективности реализации проблем с помощью программного метода.

Региональная администрация в своей деятельности, направленной на социально-экономическое развитие территории, должна использовать различные управленческие технологии: инструменты региональной промышленной политики, включающие в себя широкий спектр методов привлечения инвестиций; приемы бенчмаркинга, т. е. целенаправленного применения передового опыта других регионов. Наиболее действенными инструментами управления экономическим развитием региона являются стратегическое планирование и региональный маркетинг. Стратегическое планирование и управление являются методами современного менеджмента. Практика применения стратегического планирования не только в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, транспорте, но и других видах человеческой деятельности доказала его высокую эффективность. Все процедуры стратегического планирования применимы и к планированию регионов. Оно может использоваться не только при разработке комплексных программ социально-экономического развития регионов, но и при осуществлении антикризисных мер, в управлении масштабными инфраструктурными проектами и других направлениях развития в регионах.

Региональный маркетинг является одной из наиболее удачных концепций современного менеджмента, он позволяет сориентировать всю деятельность предприятия на нужды потребителя. Многие приемы маркетинга успешно развиваются и разрабатываются в рамках регионального маркетинга, осуществляемого органами территориального управления. Его инструментом может стать план продвижения региона, представляющий собой систему действий, которые создают и поддерживают его конкурентные преимущества, способные сохраняться в течение длительного времени.

Стратегический план регионального развития позволяет найти пути выхода из кризиса, повысить уровень благосостояния жителей. Исходным пунктом плана должна быть оценка реального положения человека во всех аспектах его деятельности, степень его соответствия современным тенденциям развития в мире и соотношения с поставленными целями. Уровень социального развития

региона, в конечном счете, определяется его экономическим состоянием, так как качество жизни населения определяется уровнем и эффективностью производства. Поэтому следует в первую очередь планировать именно экономическое развитие, основными задачами которого являются обновление структуры производства, развитие имеющихся производств, инфраструктуры жизнеобеспечения и деятельности населения, создание новых рабочих мест. По определению А. П. Гапоненко [1], цикл стратегического планирования экономического развития региона можно представить как ряд последовательных этапов (рис. 1).

В основе плана развития должна находиться четко сформированная система целей развития, удовлетворяющих стандартным требованиям измеримости, достижимости, ориентированности во времени и непротиворечивости. Обычно различают общие и конкретные цели и задачи. Общие цели должны характеризовать необходимое состояние развития региона в определенные периоды, быть четкими и относительно краткими. Они служат критерием развития, ориентиром для действия и позволяют определить необходимые меры для их достижения. После этого общие цели трансформируются в более конкретные, дающие подробные количественные ориентиры и соответствующие критерии оценки, с помощью которых можно контролировать уровень социально-экономического развития региона.

На этапе анализа внешней среды развития региона отмечаются благоприятные и неблагоприятные факторы его развития, проводится системный анализ внешних социально-экономических возможностей и угроз. С помощью количественного и качественного анализа экономической, социальной, экологической и институциональной внешней среды уточняются и оцениваются внешние ресурсы, которые можно привлечь для экономического развития региона, ключевые социально-экономические параметры внешней среды, проводится сравнительный анализ экономического развития аналогичных регионов и выявляются внешние факторы территориального развития. При определении сильных и слабых сторон региона оцениваются результаты осуществления предшествующих программ его социально-экономического развития, выявляются причины успехов и неудач. Проводится

также анализ внутренних преимуществ и слабых сторон региона и определяется, на какой стадии развития находится регион.

В ходе разработки концепции делаются окончательные выводы о целях социально-экономического развития территории, факторах и механизме этого развития, а также методах его управления. При этом учитываются новые тенденции социально-экономического развития регионов, особенности современного этапа развития российской экономики и местные условия. Основу концепции составляет разработка альтернативных стратегий, их экономическая оценка, выявление приоритетных направлений развития региона и конкурентных преимуществ данной территории. На основе концепции социально-экономического развития региона разрабатывается план конкретных действий, включающий задачи, сроки их решения, ответственных лиц, ожидаемый результат, размер и источники финансирования, способы промежуточного контроля и обратной связи, предполагаемые результаты, возможные последствия реализации планов и программ.

На этапе анализа эффективности рассматриваемых вариантов, корректировки целей и методов их достижения изучается наличие не только рабочей программы действий, но и проводится постоянный мониторинг социально-экономического состояния региона, сравнение с целями и критериями развития, дается оценка эффективности и результативности предпринятых мер. Определяется, в какой степени совместима предлагаемая стратегия с ресурсами, данными об окружающей среде, может ли она помочь решить критические проблемы региона, какую имеет поддержку жителей.

Важное свойство социально-экономических систем проявляется в том, что они целеориентированы. Поэтому целью является желаемое состояние экономической системы, имеющее определенный срок существования. Процесс задания цели называется целеполаганием. Неправильный выбор целей при создании системы приводит к тому, что решаются неактуальные проблемы, что может привести к большому ущербу, чем применение неэффективной системы для достижения выбранных целей. Анализируя рамки целеполагания для любой исследуемой системы, следует учитывать, что цель конкрет-

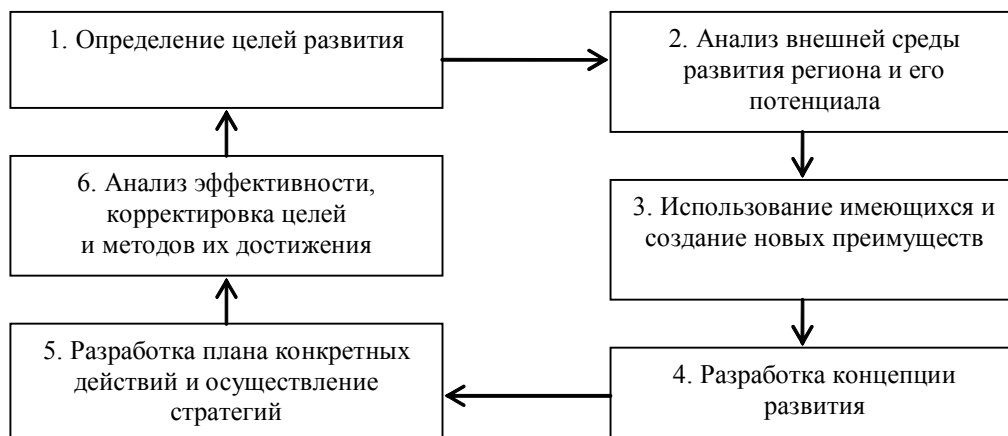


Рис. 1. Цикл стратегического планирования развития региона

ной системы может полностью соответствовать или быть частью цели вышестоящей системы и строго соответствовать объективным потребностям среды. При этом процесс целеполагания разделяют на три этапа: анализ окружающей среды, оценка возможностей исследуемой системы и указание целей.

В процессе целеполагания экономическим системам свойственны консервативность и инерционность поведения. Часто цель стараются определить абстрактно как конечное состояние изменения изучаемого экономического объекта или процесса, при этом важно изначально понять, что является целью, а что альтернативами предложенной цели. С позиций разных субъектов цель и альтернативы могут меняться местами, поэтому взаимодействие категорий целей и альтернатив удобно иллюстрировать с помощью метода дерева целей. Системы целей и средств их достижения сходны по структуре и взаимно детерминированы, так как цели первого уровня являются альтернативами достижения главной цели, но относительно целей второго уровня они выступают в качестве целей [2].

Таким образом, в поисках оптимального варианта целеполагание играет важную роль, так как помогает сделать вывод о возможности достижения поставленной изначально задачи. В процессе четкого формулирования целей и заданий целевых установок, ранжирования целей и выяснения предпочтений используется системный анализ и различные виды моделирования. В основе анализа находится изучение ретроспективы состояния проблемы, при этом используются динамические ряды показателей, характеризующие уровни удовлетворения потребностей в программном продукте за предшествующие годы, затраченные ресурсы на покрытие этих потребностей, отставание от нормативного уровня, состояние производительных сил, выявление устойчивых тенденций в изменении этих показателей и характеристик. Строится аналитическая картина состояния на данной территории для сравнения с аналогичными проблемами в других регионах.

Средством достижения намеченных целей, формой управления хозяйственной деятельностью и территориальной организацией общества является комплексная программа социально-экономического развития региона. В ней определяются масштабы, темпы, пропорции и основные направления социально-экономического развития региона, отдельных его структурно-функциональных подсистем, дается обоснование системы мер, повышающих эффективность управления производством, обосновывается рост уровня и совершенствование образа жизни населения региона. Стратегия развития отдельного региона, прописанная в программе, при этом должна органически вписываться в стратегию развития страны и составлять с ней единое целое.

Разделы проекта программы следует разрабатывать последовательно-параллельным способом, т. е. разработка каждого последующего раздела начинается до завершения разработки предыдущего, при этом в содержание предшествующего раздела вносятся коррективы при необходимости его согласования с последующими разделами. В целом соблюдается логическая последователь-

ность от цели, к путям и способам ее достижения, затем через целереализующие мероприятия к необходимым ресурсам, средствам и источникам их получения. Состав и структура комплексной программы социально-экономического развития региона представляют собой перечень определенных разделов, отражающих содержательную и функциональную характеристику принятого к реализации программного проекта. Приведем пример разделов комплексной программы социально-экономического развития региона.

Раздел 1. Анализ и оценка сложившейся социально-экономической ситуации региона. Здесь рассматривается социально-экономическая обстановка на территории, ее последствия, выделяются приоритетные проблемы, которые необходимо решить на программной основе.

Раздел 2. Оценка природных ресурсов и состояния окружающей среды. Описываются имеющиеся в регионе природные ресурсы, их количество, качество, рассматриваются возможности использования их для внутренних целей, вывоза за пределы региона, а также сложившаяся экологическая ситуация, мероприятия по ее оздоровлению.

Раздел 3. Состояние демографической ситуации и рынок труда в регионе. В разделе анализируется экономика и социология труда данной территории и выделяются приоритетные проблемы.

Раздел 4. Концепция социально-экономического развития региона. В ходе проведенного исследования делается вывод о существующем положении и структуре хозяйства региона, его материально-производственной базе, выявленных диспропорциях в экономике. Также дается прогноз по возможности использования природно-ресурсного потенциала территории и учетом тенденций технического прогресса, выдвигаемых перед регионом хозяйственных задач; формулируется концепция (прогнозный замысел) социально-экономического развития региона на расчетную перспективу.

Главным содержанием концепции должно быть принципиальное определение направлений наиболее рационального использования крупных и эффективных ресурсов, оценка на этой основе сравнительной экономичности различных отраслей и установление путей правильного формирования всего хозяйственного комплекса.

Раздел 5. Основные целевые подпрограммы. В данном разделе выделяются основные для региона целевые подпрограммы, которые могут формироваться по производственному, функциональному и проблемному признакам. В них определяются цели, задачи, конечные результаты, которые должны быть достигнуты в ходе выполнения этапов реализации программы. Каждое программное мероприятие оценивается соответствующими количественными и качественными показателями.

Раздел 6. Механизм осуществления программы. В разделе излагается взаимоувязанный комплекс мер, действий и экономических рычагов, которые могут обеспечить решение поставленной проблемы на основе рассмотрения и сопоставления альтернативных вариантов, и разрабатывается прогнозная модель программы.

Раздел 7. Ресурсное обеспечение программы. Раздел содержит расчеты предстоящих финансовых, материаль-

ных, природно-климатических, трудовых и информационных затрат. Из общего объема ресурсов выделяется та часть, которая поступает из собственных источников.

Раздел 8. Координация программных мероприятий. На данном этапе происходит согласование действий всех организаций, участвующих в осуществлении программы. Даются обоснования по организации сотрудничества региона, выполняющего программы, с сопредельными территориями и зарубежными государствами.

Раздел 9. Оценка эффективности осуществления программы. Проводятся расчеты экономической эффективности программы.

Раздел 10. Организация, формы и методы управления программой. В данном разделе разрабатываемая организационно-функциональная структура управления комплексной программой социально-экономического развития региона формируется с учетом ее специфики и территориальных особенностей.

Все разделы программы должны содержать необходимые обоснования и пояснения, при этом они формируются на весь период ее реализации и детализируются по годам выполнения. Для долгосрочных программ первоначальная разбивка сначала осуществляется по годам, а последующая – по более продолжительным срокам.

В результате анализа и структуризации программы выявляются и упорядочиваются выявленные проблемы, что позволяет выстроить систему целей, состоящую из четырех уровней и пяти ветвей, которые взаимно дополняют и не зависят друг от друга (рис. 2). Проводимый анализ делается с целью определения наиболее приоритетного направления социально-экономического развития региона из альтернативных вариантов. На самом нижнем уровне дерева целей размещаются возможные ресурсы, которые могут использоваться для достижения главной цели. Элементы второго уровня (2.1–2.5)

соответствуют основным положениям и структуре программы.

На первом уровне происходит формирование такого варианта развития Красноярского края, при котором можно решить социально-экономические проблемы территории, создать условия для постепенного перехода экономики к стратегии управляемого развития и обеспечения устойчивого роста.

На втором уровне анализируются следующие направления действий (рис. 2):

- 2.1 – повышение инвестиционной привлекательности региона;
- 2.2 – перспективное развитие промышленности;
- 2.3 – совершенствование агропромышленного комплекса;
- 2.4 – повышение уровня занятости населения края;
- 2.5 – обеспечение социальных стандартов уровня жизни населения.

На третьем уровне более детально рассматриваются задачи предыдущего уровня:

- 3.1 – разработка и пропаганда местных законов, способствующих привлечению инвестиций в край;
- 3.2 – системная работа с потенциальными инвесторами по привлечению их капиталов в регион;
- 3.3 – создание условий для развития малого и среднего бизнеса;
- 3.4 – создание условий для повышения эффективной деятельности и организации топливно-энергетического комплекса;
- 3.5 – ускорение инновационных и инвестиционных процессов на предприятиях промышленности;
- 3.6 – реализация основных направлений государственной политики в области энергосбережения, промышленного и научно-технического сотрудничества с другими странами;

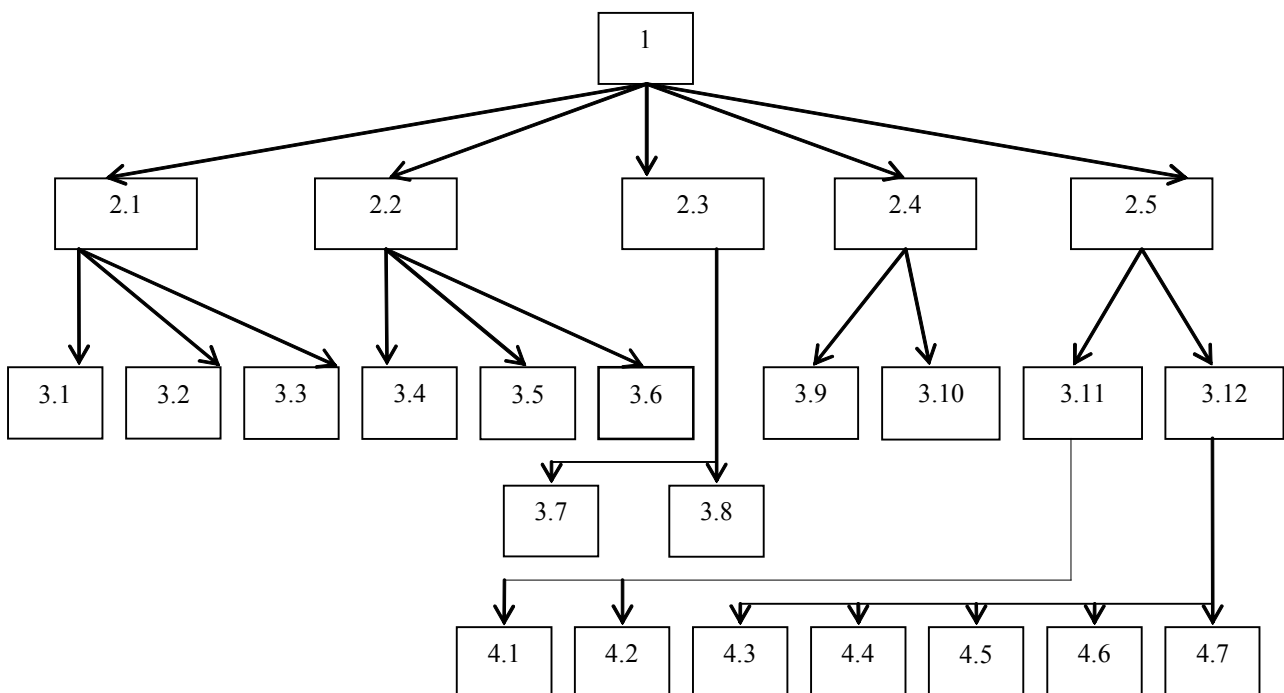


Рис. 2. Дерево целей социально-экономического развития Красноярского края

3.7 – участие в проведении аграрных преобразований в агропромышленном комплексе региона;

3.8 – реализация мер по стабилизации и увеличению объемов производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия;

3.9 – улучшение системы переподготовки и повышения квалификации кадров;

3.10 – формирование условий и механизмов регулирования оплаты труда;

3.11 – повышение уровня жизни населения региона;

3.12 – улучшение качества жизни населения региона.

На четвертом уровне предполагаются следующие действия:

4.1 – создание новых рабочих мест за счет поддержки малого и среднего бизнеса;

4.2 – обеспечение устойчивого функционирования учреждений социальной защиты, гарантирующих населению получение качественных услуг;

4.3 – разработка и реализация мероприятий, связанных с решением квартирных вопросов;

4.4 – оказание социальной и материальной помощи жителям деревень;

4.5 – разработка социальных мероприятий по решению демографических вопросов;

4.6 – координация деятельности по оказанию помощи семье и детям;

4.7 – повышение уровня культуры и духовных ценностей населения.

Цели в «дереве» взаимодополняющие, поэтому для элементов 2-го уровня можно применить метод анализа иерархий для выбора из пяти имеющихся подцелей наиболее приоритетной. При этом альтернативы сравниваются между собой, обработка результатов должна осуществляться на базе методов матричного анализа с использованием ряда специальных процедур оценки предпочтений на основании шкалы отношений метода анализа иерархий.

Для расчета приоритетности целей 2-го уровня формируются критерии, которые наиболее адекватно оценивают эти цели: финансирование из регионального бюд-

жета, важность достижения для повышения уровня жизни населения, соответствие федеральным целевым программам и последствия невыполнения конкретных мероприятий. Наиболее проработанной является пятая цель, связанная с решением социальных вопросов населения на территории края, по которой разработаны целевые программы ее реализации. Слабо развитый агропромышленный комплекс является проблемным фактором, что связано с неблагоприятными климатическими условиями на большей территории региона. Повышение инвестиционной привлекательности региона связано только с освоением востребованных природных ресурсов, что не является экономически оправданным условием развития края с точки зрения будущих перспектив.

В связи с этим основное внимание уделяется топливно-сырьевым факторам и в гораздо меньшей степени – машиностроению. Между тем, машины, оборудование, транспортные средства и другие виды продукции машиностроения – это не только наиболее законченный вид готовых изделий, но и тот товар, который характеризует научно-технический потенциал и уровень промышленного развития производящей его страны. Поэтому перспективное развитие промышленности края должно постепенно становиться приоритетной целью, реализация которой поможет региону в долгосрочном периоде занять устойчивое экономическое положение, не зависящее от внешней, международной ситуации, получить инвестиционную привлекательность и успешно реализовать разработанные социальные программы.

Библиографические ссылки

1. Гапоненко А. Л. Разработка стратегии территориального саморазвития // Регион: ресурсы местного саморазвития : спецкурс / под ред. Ю. Н. Алексеева, Б. Е. Шнилева. Вып. 8. М. : Изд-во БСГ, 1999.
2. Самофалова Е. В., Кузьбожев Э. Н., Вертакова Ю. В. Государственное регулирование национальной экономики / под ред. проф. Э. Н. Кузьбожева. М. : КноРус, 2008.

O. V. Patsuk

DESIGN OF THE REGIONS' ECONOMIC DEVELOPMENT STRATEGY

Contemporary Russian economy is undergoing the same trends of the economic modernization, which is taking place in developed countries. These are: the process of globalization, advanced development of the service industries, post-industrial society formation, intellectual component expansion in the results of any industry, informatization of the society, running out of traditional sources of social and economic growth. In such conditions the search for new ways and factors of the regional self-development is critical.

Keywords: social and economic development of the territories, regional economy.

© Пацук О. В., 2010

THE ANALYSIS OF SYSTEM OF TRAINING OF QUALIFIED SPECIALISTS AND DIRECTIONS OF ITS IMPROVEMENT FOR PROVIDING THE INNOVATIVE DEVELOPMENT OF KRASNOYARSK REGION

In the article analysis of the professional-qualified structure and the market of educational services is given. The perspective directions of the training of qualified specialists for the innovative development of Krasnoyarsk region are defined.

Keywords: qualified specialists, educational system, educational institutions, demand.

The needs of the economy of Krasnoyarsk region in high qualified specialists is determined by perspectives of the innovative development of the main branches of specialization, realization of investment projects, exploiting considerable natural resources of northern and eastern areas. The necessity of innovative development of regional economy influences modification of the structure of training of specialists on all levels of education. In present time in Krasnoyarsk region there is a problem of elaborating effective regional policy based on estimation of the situation on the labour market and improving the mechanism of training specialists in order to balance demand and supply of skilled workers.

For estimation possibility to satisfy the demand of the economy of Krasnoyarsk region in qualified specialists it is necessary to analyse the professional-qualified structure of employment and define professional characteristics of future specialists.

The professional-qualified structure of population of Krasnoyarsk region has changed with development of market relations (tab. 1).

So in the early 1990's in the structure of population 52,9 % people had elementary vocation and secondary general education. The majority was low-skilled workers. During considered period the share of workers reduced from 56,5 % in 1989 to 50,4 % in 2006. Also the share of high-skilled and skilled workers fell from 39,5 % in 1989 to 32,6 % in 2006. That situation was caused by changing activity of many industrial enterprises, reducing industrial production, liquidating large industrial enterprises.

In employment structure the share of specialists has risen. The number of people who have higher education increased from 12,6 % in 1989 to 22,4 % in 2006. The share of people with secondary vocational education fell. The increasing of the share of people who have higher education may be caused by rising demand for new «market professions». The needs in high-qualified specialists are increasing mainly in sphere of services; trade, insurance, bank sphere,

management and government. But in industry the low-skilled toil is kept.

As the analysis of employment demonstrates, there is the highest level of employment among population with higher education and the lowest level of employment among people without special education.

The training of qualified specialists in Krasnoyarsk region is determined by the level of development of educational system.

The educational system in Krasnoyarsk region is represented by great number of educational institutions (tab. 2).

The system of training specialists is considered as balanced if the number of institutions of secondary and elementary vocational education exceeds the number of higher educational establishments in 6–7 times. In Krasnoyarsk region this exceeding is more then 10 times. This fact testifies that it is necessary to reform the system of education.

In spite of great number of institutions of secondary and elementary vocational education the majority of students study in higher educational establishments (tab. 3).

The increasing quantity of students of higher educational establishments is not only regional, but also Russian and world tendency [1]. However, in Krasnoyarsk region this process has accelerated rate. So in 2000 the number of students in Krasnoyarsk region was 198 on a thousand of population, in 2006 that number was 203.

The quantity of students of higher educational institutions in Krasnoyarsk region is considerably lower than such index in high developed educational centers as Moscow, Tomsk, Novosibirsk. The level of Krasnoyarsk region is lower then Russian level. By 2006 this gap had increased. This situation may have negative consequences for future economic development of Krasnoyarsk region and result in deficit of high-qualified specialists.

The question of financing educational system is very important for analysis of the educational services market of

Table 1

The distribution of number of population of Krasnoyarsk region on level of education, %

№	Population	1989	2002	2006
1	The quantity of population including:	100	100	100
2	higher education	12,6	21,0	22,4
3	not graduated higher education	1,5	3,0	2,0
4	secondary vocational education	33,0	35,4	25,3
5	elementary vocation education	14,6	14,2	15,6
6	secondary general education	22,3	17,6	25,8
7	basic general education	14,8	7,8	8,5
8	elementary education, without education	1,2	1,0	0,5

Krasnoyarsk region. Increasing contradiction between requirement in qualified specialists and impossibility of qualitative training of specialists has following results:

1. The young people leave Krasnoyarsk region in order to get more qualitative education in other regions and in other countries.

2. The enterprises have deficiency of qualified specialists, that results in unreasonable economic loss.

3. The educational institutions are forced to open new «fashionable» specialities, which are not always in demand on regional market, increase payment for education.

4. The majority of educational institutions «washes out» their specialization, extending range of specialities, and so don't guarantee proper level of education.

Analysing the educational system of Krasnoyarsk region, it is very important to estimate professional-qualified characteristics of professional education. It is necessary to define the number of specialists trained in educational institutions on consolidated groups of specialities: industry and building, agriculture, transport and communication, economics and law, public health, education, culture and art. The distribution of students of higher education institutions into groups of specialities is given in tab. 4.

The analysis of the distribution of students of higher education institutions demonstrates that number of students trained for industry and building in Krasnoyarsk region has fallen essentially. This is conditioned by changing

specialization of regional economy and decreasing its industrialization. The low demand for qualified specialists in industry has resulted in fall of the share of training specialists on 6,6 % during considered period.

Considerably decreasing number of students of education speciality is observed. On the one hand, it can be explained by falling demand for teachers because of decreasing quantity of children, on other hand, the institutions of secondary vocational education are competitors with higher educational establishments in training of qualified teachers.

In the distribution of students of higher educational establishments in Krasnoyarsk region on groups of specialties the share of students of economics and law speciality is increasing. The development of market relations has determined high demand for economists and lawyers of different specialization. Although many higher education establishments have opened economic law faculties, the demand for these specialists remains high. To speak about any surplus of these specialists is premature.

The number of specialties for agriculture and public health has remained the same for long time. This number is determined by not only demand for these specialists, but also possibility of narrow-specialized higher education establishments.

The share of students of transport and communication speciality has increased. The demand for specialists in sphere of culture and art remains low.

Table 2

The number of educational institutions

№	Educational institutions	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1	Higher educational establishments	14	13	14	14	14	14	14
2	Institutions of secondary vocational education	66	66	66	65	66	64	62
3	Institutions of elementary vocation education	89	91	92	93	93	92	89

Table 3

The quantity of students in educational institutions of Krasnoyarsk region (thousand people)

№	Educational institutions	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07
1	Higher educational establishments	94,4	105,1	114,5	118,2	119,7	120,1	118,9
2	Institutions of secondary vocational education	59,2	62,2	62,1	62,1	62,1	61,5	58,8
3	Institutions of elementary vocation education	34,8	34,4	36,2	36,8	36,6	24,7	32,4

Table 4

The distribution of students of higher educational establishments in Krasnoyarsk region on groups of specialties, %

Year	Number of students, in total	Including						
		Industry and building	Agriculture	Transport and communication	Economics and law	Public health	Education	Culture and art
2001	100	53,6	12,0	—	7,0	3,0	23,6	0,8
2002	100	52,3	13,0	0,5	8,0	3,0	22,4	0,8
2003	100	48,6	12,0	1,6	12,5	3,0	21,3	1,0
2004	100	47,2	13,0	1,8	13,0	3,0	21,0	1,0
2005	100	47,6	12,5	2,2	12,0	3,0	21,7	1,0
2006	100	47,0	12,5	2,2	13,1	3,0	21,6	0,6

The distribution of students of institutions of secondary vocational education on groups of specialties differs from the distribution of students of higher education establishments. This difference is caused by following factors:

1. Training specialists in institutions of secondary vocational education is more oriented on industrial sector of economy.

2. The institutions of secondary vocational education in Krasnoyarsk region was founded for training specialists in accordance with needs and perspectives of development of industry of Krasnoyarsk region.

The distribution of students of institutions of secondary vocational education on groups of specialties is given in tab. 5.

As the analysis of the distribution of students of institutions of secondary vocational education demonstrates, the main part of students is oriented on industrial sector of economy. So in 2006 the share of students of industry and building, agriculture, transport and communication specialties was 87 % (in higher educational establishments the share of students of these specialties was 61,7 %).

However, the process of training specialists in institutions of secondary vocational education has such tendencies as process of training specialists in higher education establishments:

1. In connection with increasing demand of industrial enterprises the share of students of these specialties is falling. This tendency is typical for transport and communication specialties.

2. The share of students of economics and law specialties is increasing. Demand for these specialists determined the number of students of these specialties.

3. The number of students of pedagogical college is decreasing. This situation is caused by demographic processes, which have resulted in reducing quantity of children and decreasing demand for teachers.

The analysis of graduates on specialties gives possibility to estimate potential inflow of qualified specialists in branches of regional economy (tab. 6).

As the analysis of graduates of higher education establishments demonstrates, in Krasnoyarsk region in present time qualified specialists are primarily trained for industrial needs. Humanitarian specialties, as economics and law, public health, education, culture and art, is less then 50 % from total number of graduates. While in developed educational centers and in Russia on the average graduates of humanitarian specialties is 61 %.

However, in Krasnoyarsk region the tendency of increasing specialists of humanitarian specialties is observed. So in 2000 the share of graduates for industrial sector of economy was 60,7 %, in 2006 this share was 59,1 % from total number of graduates. The number of graduates of economics and law specialties is increasing. The number of graduates for agriculture is increasing too. This is result of reviving agriculture in Krasnoyarsk region, which determined the demand for these specialties. The high share of graduates for industrial needs is provided by building branch. The intensive development of this branch determines the high demand for specialists of building specialties.

The prognosis of graduates of higher education establishments for economy of Krasnoyarsk region is made on basis of following suppositions:

1. For prognosticated period the innovative character of economic development of Krasnoyarsk region will determine high demand for specialists with higher education.

2. The part of state financing will decrease on the average on 6 % a year and by 2025 it will have been 47, 8 % from total number of students.

3. The state financing of training qualified specialists will be within the framework of filling state order.

The prognosis of needs of economy of Krasnoyarsk region is made taking into consideration the policy of perspective economic development of the region [2].

Table 5

The distribution of students of institutions of secondary vocational education of Krasnoyarsk region on groups of specialties, %

Year	Number of students, in total	Including						
		Industry and building	Agriculture	Transport and communication	Economics and law	Public health	Education	Culture and art
2001	100	46,3	12,2	11,6	11,0	9,4	7,0	2,5
2002	100	47,0	12,2	11,0	11,6	8,8	6,9	2,5
2003	100	47,0	12,8	9,4	12,0	9,0	7,4	2,4
2004	100	46,5	12,9	9,3	12,0	8,9	7,9	2,5
2005	100	45,0	12,9	9,7	12,4	8,9	8,6	2,5
2006	100	44,6	12,8	9,6	12,2	10,0	6,5	4,3

Table 6

The graduates of higher educational establishments on specialties, %

Year	Number of students, in total	Including						
		Industry and building	Agriculture	Transport and communication	Economics and law	Public health	Education	Culture and art
2000	100	50,4	10,3	—	7,7	3,4	27,4	0,8
2001	100	51,1	11,5	—	6,8	3,8	26,0	0,8
2002	100	47,0	12,0	0,6	11,3	2,6	25,8	0,7
2003	100	44,7	13,3	0,6	15,1	2,3	23,2	0,8
2004	100	42,5	14,0	0,5	16,6	2,5	22,8	1,1
2005	100	41,3	17,3	0,5	14,0	2,9	23,1	0,9

The calculation of number of students was made on group of specialties [3].

The prognosis of graduates of higher education establishments on group of specialties is given in tab. 7, 8.

To satisfy the needs of the economy of Krasnoyarsk region in high qualified specialists it is necessary to change the structure of training. The share of graduates for industry will decrease. This tendency will be caused by modernization and change of specialization of some large enterprises of Krasnoyarsk region. Graduates of traditional professions must provide only replacement of leaving qualified specialists of industrial enterprises.

In connection with perspective development of agriculture in Krasnoyarsk region the number of graduates for this branch will increase. The number of graduates for transport and communication will increase too. This will be caused by developing transport infrastructure. The tendency of increasing number of graduates of economics and law specialties will remain until 2015. The number of graduates for public health, culture and art will be stable.

As a result of our investigations the following directions of improving educational system have been offered:

1. The demand for qualified specialists will increase in branches orientated on innovative development, as building, transport and communication, agriculture and sphere of services. This is conditioned by necessity of changing technology of production. It is supposed that using new technology will result in ousting toil. In estimation of researchers the toil in building is 50–70 %, the toil in agriculture is 70–80 % of total expenses of labour. Using new technology and qualified labour will improve quality of produced goods and services.

2. The investigating market of educational services in Krasnoyarsk region demonstrated that the demand for qualified specialists may be satisfied by local educational institutions, which can quickly respond to changing demand of employers.

3. It is necessary to reduce the number of institutions of secondary and elementary vocational education and make the correlation between number of higher education establishments and number of institutions of secondary and elementary vocational education as 1:7 (in present time this is 1:11) for conformity in training qualified workers and specialists with higher education.

4. To satisfy the needs of economy of Krasnoyarsk region in qualified specialists it is necessary to modify the system of training specialists. Firstly, practical orientation in training specialists must be on first place. Secondary, it is necessary to intensify orientation on specialization of training specialists.

5. It is necessary to change the structure of training specialists: to increase the share of specialists of humanitarian specialties. As the analysis demonstrated, the orientation of training specialists for industry doesn't satisfy the needs of perspective economic development of Krasnoyarsk region. The training of specialists for sphere of services does not developed. Perspectives of development of some branches of economy (oil-gas complex, forest industrial complex, food industry, road-building) determine the necessity of training specialists of these specialties.

6. The regional program of support and development of socio-important and demanded specialties for higher educational establishments must be elaborated. It is necessary to create system of stimulation of students of these specialties by means of giving special grants, paying probation.

7. To improve quality of training specialists the possibilities to open specialties which do not correspond to specialization of a higher education institution must be restricted.

8. The state order must be important instrument of training specialists. The state order must be formed on the basis of perspective needs of economy of Krasnoyarsk region in high

Table 7

The prognosticated estimation of graduates of higher educational establishments on group of specialties until 2025 (thousand people)

№	Specialties	2008	2010	2015	2020	2025
1	Industry and building	9,0	9,5	10,6	11,0	11,5
2	Agriculture	3,9	4,5	6,4	7,2	8,3
3	Transport and communication	0,1	0,11	0,13	0,15	0,17
4	Economics and law	2,9	3,4	5,0	5,8	6,0
5	Public health	0,7	0,9	1,2	1,6	1,8
6	Education	5,0	5,4	6,2	6,5	6,8
7	Culture and art	0,2	0,25	0,45	0,6	0,8
8	In total	21,8	24,06	29,98	32,85	35,37

Table 8

The prognosticated estimation of graduates of higher education establishments on groups of specialties till 2025, %

№	Specialties	2008	2010	2015	2020	2025
1	Industry and building	41,3	39,2	35,4	33	33
2	Agriculture	17,9	18,9	21,3	23	23,5
3	Transport and communication	0,5	0,5	0,9	1,5	2
4	Economics and law	13,3	14,5	16,7	16,4	16,4
5	Public health	3,2	3,7	4,0	5,0	5
6	Education	23,0	22,4	20,7	20	19
7	Culture and art	0,8	1,0	1,0	1,1	1,1
8	In total	100	100	100	100	100

qualified specialists. It is necessary to make prognosis of development of productive forces of Krasnoyarsk region, taking into account realizing large scale investments and innovative projects.

9. The main source of financing of educational system must be private. The state financing must guarantee filling state order, training needy students and opening socio-important and demanded specialties.

10. Requirements of businesses, which determine perspectives of development of certain spheres of economy, should play an important role in forming of state order.

References

1. Labour market and labour of educational services in Subjects of Federation / V. N. Vasilev [et al]. M. : Tehnocphere, 2007.
2. Zavodovskay M. V., Topoluk N. N., Covalevckii A. F. Methods of prognosis of requirement for specialists with higher education in Russia // Supply and demand on a labour market and the market of educational services in regions of Russia : collected reports on materials of the All-Russia scientific-practical Internet conference with the international participation. B. II. Petrozavodsk, 2004. P. 72–75.
3. Nastenka A. D., Vasina T. V. Prognosticating of branch and regional development. M. : GELIUS ARB, 2002.

Г. И. Поподько, О. С. Нагаева

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Проведен анализ профессионально-квалификационной структуры и рынка образовательных услуг в Красноярском крае. Определены перспективные направления подготовки специалистов для инновационного развития Красноярского края.

Ключевые слова: квалифицированные специалисты, система образования, образовательные учреждения, спрос.

© Поподько Г. И., Нагаева О. С., 2010

УДК 338.27

А. А. Гретченко

ФОРСАЙТ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИОРИТЕТОВ

Рассматривается инновационный инструмент долгосрочного прогнозирования форсайт – процесс систематического определения новых стратегических научных и технологических приоритетов, которые в долгосрочной перспективе смогут оказать серьезное воздействие на экономическое и социальное развитие страны.

Ключевые слова: форсайт, технологический мейнстрим, партикулярные интересы, прогнозирование, стратегия, нанотехнологии.

Глобальный финансовый кризис, разразившийся для многих отечественных аналитиков экономического будущего как гром среди ясного неба, заставляет оторвать взгляд от компьютерных графиков динамики виртуальных экономических успехов и искать реальный ответ на вопрос, как расставить научные и технологические приоритеты при переходе России от сырьевого к высокотехнологичному пути развития, к экономике, основанной на знаниях.

Для описания, объяснения и предсказания экономического развития вновь становятся востребованными теории цикличности Николая Кондратьева и Йозефа Шумпетера в части, касающейся долгосрочного научно-технологического прогнозирования. Все чаще используется циклический процесс: сначала идет выбор приоритетов,

затем следует оценка возможных инноваций и технологических решений, строятся технологические «дорожные карты», идет внедрение полученных результатов, их оценка и оценка методов использованных форсайтов.

Такой стратегический маневр требует активного участия и государства, и бизнеса в процессах формирования современной и эффективной национальной инновационной системы, которая призвана обеспечить конкурентоспособность, повышение уровня жизни населения и увеличение человеческого капитала. В такой модели для существенного повышения конкурентоспособности национальной экономики на мировых рынках помимо масштабных инвестиций необходимо своевременное выявление технологических возможностей и угроз и определение научных и технологических приоритетов, а затем и

поддержка потенциальных точек роста новых эффективных технологий.

В России приоритетные направления развития науки, технологий и техники, а также перечень критических технологий были утверждены президентом страны в 2006 г. Российской Академией наук РФ разработан прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 г.) в соответствии с п. 2 Перечня поручений Президента Российской Федерации Д. А. Медведева от 04.05.2008 г. № Пр-861 ГС [1–3].

Опыт наиболее развитых стран свидетельствует о том, что в национальных планах научно-технологического и инновационного развития отражены именно эти приоритеты (США, страны ЕС, Япония, а по ряду технологий, например по нанотехнологиям – также Австралия, Бразилия, Индия, Китай, Россия и др.). Это свидетельствует о корреляции независимых экспертных исследований в области мировых технологических приоритетов и применения технологий для решения основных глобальных проблем и анализа возможностей человечества, а также реальных политических решений, основанных на прогнозах в научно-технологической сфере. Кроме того, эти совпадения отражают рост глобального взаимодействия в экономической и политической сферах, в научно-технологической и особенно в инновационной политике.

В настоящее время западноевропейские страны придерживаются селективной стратегии научно-технологического развития, определяя для себя приоритетные научные направления инновационного характера, разработка которых позволяет эффективно использовать имеющиеся финансовые и интеллектуальные ресурсы и тем самым расширить и укрепить свои позиции на мировых рынках технологий в условиях глобализации. Как показывает опыт, приоритетом пользуются работы, которые проводятся совместно с организациями государственного сектора (университеты и национальные научно-исследовательские центры) и частного или корпоративного капитала (центры развития промышленных фирм) на началах долевого финансирования, а также работы междисциплинарного характера.

В развитых странах приоритетами государственного сектора науки остаются такие общенациональные цели, как оборона, охрана здоровья, изучение космоса, поддержка исследовательских проектов в области энергетики, фундаментальные естественно-научные программы. Так, если проанализировать бюджет США на 2004–2006 гг., то более 95 % научного бюджета страны приходится на пять соответствующих этим приоритетам министерств и ведомств: Министерство обороны, Национальный институт здоровья, НАСА, Министерство энергетики и Национальный научный фонд [4].

Поэтому российское правительство ставит перед научным экспертным сообществом стратегические задачи выявления перспективных научных и технологических направлений, которые могли бы лечь в основу долгосрочной научной и инновационной политики развития национальной экономики. Их выявление и выбор должны базироваться на оценке социально-экономического эффекта новых технологий и оценке ресурсных и технологических возможностей для реализации выбранных направлений

для повышения конкурентоспособности российских компаний на мировом и российском рынках и формирования национальной инновационной системы [5].

Особое место в разработке научно-технической и инновационной стратегии государства занимает новая практика определения приоритетов научного и технологического развития с помощью метода форсайта (Foresight). Форсайт – это технология долгосрочного прогнозирования, инструмент предвидения технологических процессов, будущее состояние развития явлений технического, социального, ментального характера, способ построения согласованного, взвешенного и ответственного образа будущего. В его основе лежат технологии работы с большими экспертными панелями – сотни экспертов передают свои знания, мнения и предположения.

По поводу точки отсчета, когда именно возник форсайт, существует две точки зрения. Одни считают, что он появился еще в 50-х гг. прошлого века, другие утверждают, что как методология форсайт оформился лишь в конце XX в. Из сферы обороны и области внутрифирменных секретов данный инструмент перебрался в экономику, социальную сферу, политику. С этого момента начался первый этап эры форсайта.

На втором этапе, когда больше внимания стали уделять разработке рыночно ориентированного форсайта, в котором оценивались социальные и культурные последствия появления и внедрения технологий (например, влияния Интернета на семейные и политические институты, организацию труда), слово «технологический» стало появляться все реже.

В настоящее время форсайт третьего этапа развития стал концентрироваться на обсуждении неразрешимых проблем для страны. Технологический прогноз стал привязываться к решению какой-либо проблемы (проблемы голода, бедности, безопасности и т. п.). При переходе к третьему этапу форсайт все в большей степени становится технологией переговоров элит, создания консенсуса о будущем для всего общества. Форсайт используется как системный инструмент влияния на формирование будущего, позволяющий учитывать возможные изменения во всех сферах общественной деятельности – науке и технологиях, экономике, социальных и общественных отношениях, культуре. Именно поэтому прилагательное «технологический», как правило, употребляют достаточно редко.

Обращаясь к исследованию мировой практики, отметим, что существуют различные виды форсайта: национальные, межрегиональные, корпоративные, региональные и тематические.

Национальные форсайты достаточно широко известны и представляют собой видение развития экономики отдельного государства. Межрегиональные форсайты встречаются реже. В них предпринимается попытка выявления ключевых тенденций развития экономик нескольких стран.

Корпоративные форсайты менее освещены в литературе, поскольку в них содержатся формулировки стратегических моментов, которые составят в перспективе ключевые конкурентные преимущества компаний. Вместе с тем, некоторые отличительные черты можно выделить. Особенности корпоративного форсайта и его отличия от

общего понимания технологического форсайта изложены в работе Becker Patrick «Corporate Foresight in Europe: A First Overview» [6].

Тематические форсайты широко применяются в военной и социальной сфере, например, форсайт национального здравоохранения или форсайт образования. К тематическим можно отнести «The Foresight for Transport» – проект, поддержанный Европейской комиссией в рамках программы «Competitive and Sustainable Growth Programme (1998–2002)» [7].

Кроме критерия разновидностей форсайта по охвату, существуют различия по методологическому взгляду на форсайт. Один из них построен с использованием существующих тенденций с попыткой заглянуть в будущее. Другой, исходя из видения будущего, выделяет «ростки», на базе которого он станет формироваться. Исходя из этих критериев любой форсайт представляет собой некий квадратик в матрице, по осям которой откладываются параметры по охвату и по методологии форсайтов.

В основе форсайта заложено несколько базовых принципов.

1. Вовлеченность (commitment) различных общественных сил – бизнеса, научного сообщества, органов государственной власти и гражданского общества – в обсуждение и составление долгосрочных прогнозов, стратегий развития.

2. Коммуникация (communication) участников.

3. Концентрация на долгосрочном периоде (concentration on the long term).

4. Координация. Оценки развития науки и технологий даются в связи с экономическими и социальными изменениями.

5. Согласие (consensus) – необходимость слаженной работы бизнеса, научного сообщества, органов государственной власти и гражданского общества, которые пытаются прийти к консенсусу на основе разработанных специалистами сценариев развития общества.

6. Системность процесса, основанная на структурированных размышлениях экспертов.

Таким образом, новый механизм прогнозирования содержит четыре ключевых элемента: 1) форсайт является процессом систематическим; 2) центральное место в этом процессе занимают научно-технические направления (а не конкретные технологии); 3) временной горизонт должен превышать горизонт делового планирования [8]; 4) приоритеты рассматриваются с точки зрения их влияния на социально-экономическое развитие страны.

Анализ зарубежного опыта свидетельствует о том, что в 1990-х гг. форсайт начали активно использовать правительства США, Великобритании, Германии, Японии и Австралии. В начале 2000 г. число стран превысило 30. В настоящее время эта методика взята на вооружение не только в Западной Европе, США и Японии, но ряде развивающихся стран и стран переходной экономики – новых членах ЕС, в частности, в Венгрии, Чехии, Польше.

В Великобритании, Германии, Венгрии, Франции, Испании форсайт пропагандирует правительство, в Швеции, Италии и Португалии его инициатором явились деловые круги. Наиболее широкое распространение этот метод получил в Великобритании, опыт которой в настоящее время используют многие страны.

За последнюю четверть века отдельными развитыми государствами и крупными компаниями проведено более 800 форсайтных исследований. Правительства (на национальном и местном уровнях), компании (по большей части некоторые крупные представители малого и среднего бизнеса) и организации других типов (благотворительные, торговые ассоциации) осуществили значительное количество форсайтных исследований. Следует отметить, что результаты форсайта, проведенного общественными организациями, как правило, общедоступны, тогда как результаты частных фирм держатся в секрете.

Форсайт стал международной технологией долгосрочного прогнозирования. Так в Японии проведено 9 национальных форсайтов, на основе которых строится ряд государственных стратегий. В национальных форсайтах Китая принимают участие десятки тысяч экспертов по каждому из направлений. Каждая европейская страна проводит свои форсайты, подобные проекты реализованы в ЮАР, Бразилии, США. Проводятся ежегодные международные конференции, посвященные форсайту (например, X Международная научная конференция ГУ-ВШЭ по проблемам развития экономики и общества, 9 апреля 2009 г.), выпускаются специализированные журналы, работают тематические Интернет-сайты.

Определенные приемы технологического форсайта (Technology Foresight) использовались в США в области оборонных исследований и перспектив безопасности в 1950-х гг. Элемент этой технологии был эффективно использован в Японии в 1971 г. в ходе реализации проекта «Future Technology in Japan toward the Year 2030». Был создан проект Science and Technology Foresight Center, разрабатываемый National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP). Несколько позднее похожий проект был начат и частично проработан в Советском Союзе под названием «Комплексная программа научно-технического прогресса».

Таким образом, форсайт представляет собой процесс общенационального отбора новых направлений, в ходе которого достигается консенсус мнений различных субъектов национальной инновационной системы и устанавливаются связи между ее элементами. Поэтому наибольшее распространение этот метод получил в странах с развитой культурой кооперации, сотрудничества внутри национальной инновационной системы, развитие которой поддерживает правительство.

Как технология долгосрочного прогнозирования форсайт имеет схожесть с прогнозированием. Прогноз – это научно обоснованное суждение о возможных состояниях некоторого объекта в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках достижения этих состояний. У форсайта и прогнозирования есть общие черты:

- учитываются объективные тенденции и силы, влияющие на развитие;
- используются методы прогнозирования: метод Дельфи (экспертные оценки), сценарное планирование, экспертные обсуждения (фокус-группы, мозговые штурмы);
- определяются критические технологии.

Но вместе с тем, имеются существенные отличия форсайта от прогнозирования. Форсайт вовлекает всех ключевых участников развития: научно-техническую сфе-

ру, бизнес, правительство, общественность. Традиционное же прогнозирование (forecasting) осуществляется учеными. Пожалуй, это основное (но не единственное) отличие прогнозирования от форсайта. Кроме того, форсайт отличается в следующем:

- развивает сотрудничество и кооперацию между бизнесом, государством и учеными;
- развивает способность и культуру предвидения в обществе;
- предусматривает возможность выбора варианта действий в зависимости от «видения» будущего;
- содержит элементы активного влияния на будущее (путем определения зон исследований и появления технологий, которые могут принести наибольшие экономические и социальные выгоды, и осуществления ранней концентрации ресурсов на этих направлениях).

Проведенные исследования и обзор научной литературы свидетельствуют о том, что форсайтные исследования не идентичны прогнозам, которые составлялись 50 и даже 30 лет назад. В целом futures studies (исследования будущего) формировались как наиболее полный набор методов предсказания. Они включают в себя исследование и учет важнейших трендов и факторов, а также определение основных интересов и анализ сочетания различных сил с целью определения альтернатив развития будущего (в гораздо большей степени, чем при составлении только прогноза будущего). Futures studies находятся под сильным воздействием таких факторов, как экология, здоровье людей, новые технологии, т. е. имеют безусловную социальную ориентацию.

Коммуникативные технологии форсайта – один из эффективных инструментов формирования общественного мнения и позиции профессиональных сообществ. Они позволяют направлять и фокусировать деятельность вовлеченных в процесс компаний, организаций и широких групп людей в единое русло и, соответственно, влиять на постановку целей и задач, обусловленных представлением о возможных путях развития отдаленного будущего, в том числе как наиболее уязвимых, так и обладающих потенциалом в точках роста.

В настоящее время появляется все больше примеров применения этой технологии активного исследования будущего в рамках объединенных блоков стран, а также крупными мировыми корпорациями с привлечением ведущих экспертов стран, оказывающих существенное влияние на развитие соответствующей отрасли.

Области, в которых применим форсайт, могут быть самыми разнообразными. Большая часть работ, выполненных до настоящего времени, фокусировалась на проблеме национальной конкурентоспособности и, в частности, на определении приоритетов в различных областях технологического развития. Вместе с тем, методология форсайта достаточно часто, как уже отмечалось выше, используется для решения проблем социального, политического и культурного характера. Среди них, например, видение демографических изменений в обществе, перспективы развития транспортных систем, способы решения конкретных экологических проблем.

Таким образом, форсайт отличается почти от всех известных инструментов предвидения тем, что он не толь-

ко предполагает участие многих заинтересованных слоев гражданского общества не только в формировании картины предвидения, но и зовет участников к активным действиям по реализации ими же предсказываемых изменений. При этом желательно, чтобы такой «веер» зарождающихся гражданских инициатив стал предметом некоторого согласия. И хотя форсайт способствует стремлению к выработке консенсуса активных представителей заинтересованных слоев общества, он все же не склоняет к ущемлению их собственных партикулярных интересов.

Целью форсайта является не просто подготовка аналитического прогноза по наиболее проблемным направлениям, детальных сценариев или тщательно выверенных экономических моделей, но и стремление объединить усилия основных участников процесса перемен, создать для них условия, для того чтобы действовать на опережение, для консолидации. Не менее важной составляющей цели форсайта является создание сетей (Network) высококвалифицированных и заинтересованных в действиях его участников (представители власти, бизнеса, гражданских институтов, общественных организаций, ученых и т. д.). Вовлеченными действующими субъектами могут быть представители власти, компаний, муниципальных образований, общественных движений, гражданских объединений, сообщества ученых и экспертов.

В последние годы неоднократно проходили обсуждения проблемы форсайта применительно к России. Ставился вопрос, нужен ли России форсайт, если нужен, то в каком виде. Теперь принципиальный ответ дан: форсайт нужен и уже проводится. В ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.» заложена организация долгосрочного научно-технологического прогнозирования (форсайта) как одно из важнейших научных исследований [9]. Тем самым государство признает необходимость глубокого изучения процессов формирования технологической базы страны для более эффективной поддержки этих процессов и своевременного использования их результатов.

Необходимость форсайта сегодня вызвана изменением экономической политики России. Это особенно важно на фоне продолжающегося накопления потенциала для технологического рывка в США, ряде других стран, прежде всего Китая, что в перспективе означает для России «изменение поля конкурентной борьбы». Форсайт в российских условиях необходим для того, чтобы улучшать процесс принятия решений; управлять выбором технологий; создавать альтернативные направления для будущего развития; усиливать процесс обучения и улучшать готовность к непредвиденным обстоятельствам; мотивировать изменения.

Его использование в стране стало реакцией на изменения в структуре производства, вызванные все более тесным взаимодействием между наукой и производством. Это сближение настолько ускорило процессы разработки новых технологий, новых видов наукоемкой продукции, что умелая организация инновационной деятельности стала определять шансы страны на место в мировом разделении труда.

Первоначально цель форсайта состояла именно в том, чтобы точнее определить свое место в мировом произ-

водстве высокотехнологичной продукции. К настоящему времени в России сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, развита наука и имеется ее огромный потенциал (по интегральному показателю способности к инновациям страна занимает 25 место в мире среди 115 стран и 83 место в рейтинге международной конкурентоспособности), а с другой – в конкурентоспособности этот потенциал не реализован, не коммерциализирован. Кроме того, сейчас из более десяти тысяч патентов, которые выданы во всем мире в сфере нанотехнологий, 2 030 зарегистрировано в России, но из них 2 000 – это патенты, выданные Роспатентом иностранным правообладателям, и только 30 патентов принадлежат российским компаниям! По данным Роспатента, из 100 % охраноспособных результатов интеллектуальной деятельности, полученных при бюджетном финансировании, патентуется до 10 %, а в коммерческий оборот попадает 1–1,5 %.

Практически, Россия сегодня не влияет на развитие глобальной экономики. Отсюда следует, что этот весьма значительный инновационный потенциал как бы бесполезен. Но в задачу определения перечня технологий, на которые претендует страна, добавились и задачи социального типа (снижение смертности, снижение уровня преступности и т. д.). Расширение перечня целей означает, что конкурируют уже не только промышленные компании, но и страны в целом. Удачное решение социальных проблем с помощью науки делает страну более привлекательной для жизни, для инвестиций, вообще делает ее более конкурентоспособной.

До настоящего времени в России существует два уровня государственных приоритетов науки и техники: федеральный и региональный. И те, и другие утверждаются органами государственной власти и являются основой для выделения бюджетных средств на реализацию научных исследований. Можно добавить и направления научно-технической и инновационной деятельности наукоградов, которые утверждаются указами президента. И все эти виды приоритетов имеют различия в своей структуре.

Так, федеральные приоритеты до последнего времени (до включения в их состав задачи развития инновационной инфраструктуры) были приоритетными направлениями научных исследований и разработок. Их истоками были научные организации. Региональные приоритеты сложились сначала под влиянием местных региональных нужд и уже потом под влиянием интересов научных кругов региона. Наиболее типовой набор региональных приоритетов обычно включает 5 групп целей: экологию региона, эффективное использование местных природных ресурсов, важнейшие социальные проблемы (здоровье населения, преобладающие заболевания, образование), повышение эффективности государственного управления, научно-техническую поддержку местной промышленности. Последний блок, естественно, самый мощный.

Если сравнить структуру приоритетов федерации и регионов, то видно, что структура региональных приоритетов гораздо ближе к сложившейся в настоящее время типовой структуре форсайта. Форсайт включает в большинстве стран как вопросы прогнозирования собственно научных исследований, так и перспективы освоения

рынков высоких технологий, решение важнейших социальных и управленческих проблем, которые у нас принято обозначать как госнужды: прогнозирование технологий; выбор «рыночных ниш» с учетом соотношения сил в мировой экономике; выбор секторов интересов (запросы общества); определение траектории движения (промежуточные события, связи между направлениями).

При разработке методологии выбора региональных инновационных приоритетов обеспечивалась преемственность методических решений, использованных при отборе приоритетов научно-технологического развития на федеральном уровне.

По нашему мнению, актуальность форсайта в России будет возрастать, и тому есть ряд важных причин:

- научные исследования становятся все более дорогостоящими и мультидисциплинарными, и даже наиболее богатые страны вынуждены ограничивать исследовательские бюджеты;

- сетевые взаимодействия, возникающие в процессе проведения форсайтов между многочисленными экспертами, являются двигателем развития в новой экономике;

- активную роль играет стимулирование проведения форсайтов Европейским союзом и другими международными организациями (в частности, UNIDO, региональным представителем которой недавно стал Форсайт-центр ВШЭ).

При этом в любом успешном проекте должны сочетаться различные методы, которые в совокупности наряду с содержательным анализом обеспечивают привлечение экспертов самой высокой квалификации, их высокую активность и взаимодействие.

Из всего многообразия методов наиболее часто используются мозговые штурмы, SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats – анализ сильных и слабых сторон, возможностей и угроз), построение дорожных карт, критические технологии и, конечно, Дельфи. Последовательность применения методов может быть совершенно разной и зависит от поставленных задач. В случае признания форсайта успешным он становится регулярным и с необходимыми усовершенствованиями проводится раз в несколько лет (например, с периодичностью раз в пять лет, как в Японии).

Таким образом, форсайт связан с будущим, а будущее создается сегодня. Очень важно то, что форсайт должен отталкиваться от реальных потребностей, а не имеющихся возможностей. Применяя данный инструмент на практике, необходима ориентация на перспективные потребности, а не на текущие возможности.

Приоритеты форсайта являются ориентирами для всего общества, показывают наиболее актуальные научно-технические и социально-экономические перспективные проблемы, решение которых необходимо для построения общества, основанного на знаниях. Поэтому приоритеты форсайта не являются жесткими критериями бюджетного финансирования научной и инновационной деятельности, а структура государственного финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) лишь частично совпадает с приоритетами форсайта.

Для России этот метод может быть использован для разработки приоритетов государственного финанси-

вания новых направлений НИОКР, в качестве механизма определения необходимых институциональных изменений в сфере НИОКР и формирования национальной инновационной системы. Использование этого подхода могло бы иметь большое значение в деле укрепления контактов государственного сектора, частного бизнеса и общества в целом, в развитии культуры сотрудничества, в выработке принципиальных решений о путях инновационного развития страны. В настоящее время в России предпринимаются попытки использования методики форсайта для выработки политики в области информационной технологии.

Сейчас готовится закон о стратегическом прогнозировании, в котором будут положения о подготовке научно-технологического прогноза. Важно, чтобы в процессе принятия решений участвовали представители бизнеса, в том числе на базе форсайт-проектов, чтобы разработка направлений прогнозирования была подчинена принятию конкретных решений, ориентировалась на поиск «узких мест». Примером такого подхода в развитии институтов является разделение институциональной и проектной деятельности в сфере научно-технологического развития на базе научно-технологического форсайта, способного определить сферы ответственности и интересы бизнеса, определить научные и технологические приоритеты.

Библиографические ссылки

1. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации : утв. Президентом РФ 21 мая 2006 г. Пр-843 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.government.ru>.

2. Перечень критических технологий Российской Федерации : утв. Президентом РФ 21 мая 2006 г. Пр-842 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.government.ru>.

3. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (2030 г.): концептуальные подходы, направления, прогнозные оценки и условия реализации. М. : РАН, 2008.

4. Science and Engineering Indicators – 2006. Vol. 1–2. National Science Foundation, 2006.

5. О стимулировании инновационной активности предприятий, осуществляющих научные исследования и разработки, коммерциализацию результатов научно-технологической деятельности, технологическое проектирование и приобретение новых технологий : Заседание Президиума Правительства Российской Федерации от 15 июня 2009 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.government.ru>.

6. Becker P. Corporate Foresight in Europe: A First Overview. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2003. P. 25.

7. The Foresight for Transport project was supported by the European Community under the «Competitive and Sustainable Growth Programme (1998–2002)». European Transport context. P. 3.

8. Гретченко А. И. Деловое планирование – системообразующий элемент формирования регулируемого рынка : сб. науч. тр. ВГНА Министерства финансов РФ. М. : ВГНА, 2006.

9. О федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.» : Постановление Правительства РФ от 17 октября 2006 г. № 613 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.government.ru>.

A. A. Gretchenko

FORSYTE AS THE INNOVATIVE TOOL OF FORECASTING AND REALIZATION OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PRIORITIES

The work is devoted to the innovative tool of long-term forecasting Forsyte as a process of regular definition of new strategic scientific and technological priorities which in long-term prospect can have serious influence on economic and social development of the country.

Keywords: Forsyte, technological mainstream, particular interest, forecasting, strategy, nanotechnologies.

© Гретченко А. А., 2010

А. В. Худоногов

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ И СТРУКТУРНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрена сущность коммуникаций в маркетинге с точки зрения современных принципов управления коммуникационной деятельностью. Разработана структура системы маркетинговых коммуникаций предприятия и определены элементы, входящие в ее состав. Проанализирован интегрированный подход к управлению маркетинговыми коммуникациями и основные тенденции, характеризующие развитие маркетинговых коммуникаций в современных условиях.

Ключевые слова: маркетинг, маркетинговые коммуникации, реклама.

Коммуникативные процессы имеют огромное значение в человеческом общении и развитии, а также входят в число наиболее актуальных проблем человечества. Важную роль коммуникации играют и в маркетинге. Зачастую, именно эффективностью коммуникаций предприятия определяется качество и реализация определенных маркетинговых решений, таких как выход на новые рынки, повышение лояльности потребителей или увеличение продаж определенного продукта. Без действенных коммуникаций невозможно обеспечить бесперебойное функционирование, а тем более постоянное развитие организации, и только те компании, которые проводят эффективную коммуникационную политику, могут надеяться на успех в будущем.

Несмотря на значимость сложившейся ситуации, проведенный анализ отечественных и зарубежных источников показывает, что проблема маркетинговых коммуникаций на сегодняшний день окончательно не разработана не только в России, но и в развитых в экономическом отношении странах. Практически все компании рассматривают коммуникационные элементы как самостоятельные виды деятельности, которые практически не взаимодействуют между собой и не увязаны в единую систему.

Мы считаем, что в сложившейся ситуации возникает необходимость разработки систем маркетинговых коммуникаций (СМК), соответствующих современным тенденциям рынка и позволяющих предприятиям быть в достаточной степени конкурентоспособными.

В ходе проведения исследования было определено, что в настоящее время существует достаточно большое количество трактовок термина «коммуникация» (от лат. *communicatio* – сообщение, передача). В социологии и философии под коммуникацией понимается обмен информацией посредством символов и образов, а в психологии понятие «коммуникация» часто отождествляется с понятием «общение». Несмотря на это, практически все определения описывают коммуникацию как процесс взаимодействия.

Что касается коммуникаций в маркетинге, было выявлено, что позиции различных исследователей относительно понятия «маркетинговые коммуникации» (англ. *marketing communications*) существенно отличаются. Это приводит к отсутствию систематизированной информации по данному вопросу, который имеет большую теоретическую и практическую значимость.

Проведенное исследование научных литературных источников показывает, что большинство авторов рас-

крывают понятие «маркетинговые коммуникации» недостаточно полно и корректно. По мнению американских специалистов в области маркетинга и рекламы Дж. Барнетта и С. Мориарти, «маркетинговые коммуникации представляют собой процесс передачи информации о товаре целевой аудитории» [1]. В приведенном определении авторы не заостряют внимание на том, что передаваемая информация может быть не только о товаре, но и об услуге, бренде, организации, мероприятии и т. д. Известные западные специалисты Ф. Котлер и К. Л. Келлер определяют маркетинговые коммуникации как «средства, с помощью которых фирмы пытаются информировать, убеждать и напоминать потребителям, о своих товарах и торговых марках» [2]. Авторы не уточняют, что с помощью маркетинговых коммуникаций осуществляется воздействие не только на потребителей, но и на другие целевые аудитории, а именно, на поставщиков, посредников, персонал и т. д. Европейский маркетинголог Ж. Ж. Ламбен под маркетинговыми коммуникациями понимает «совокупность сигналов, исходящих от фирмы в адрес различных аудиторий, в том числе клиентов, бытовиков, поставщиков, акционеров, органов управления, а также собственного персонала» [3]. В данном определении достаточно полно перечислены целевые аудитории маркетинговых коммуникаций, но не уточнено, что маркетинговые коммуникации – это все-таки не односторонний процесс, а обмен информацией.

Нами также было определено, что в работах многих российских и зарубежных авторов, в том числе С. И. Стефанова [4] и Т. А. Беркутовой [5], маркетинговые коммуникации отождествляются с таким элементом комплекса маркетинга, как продвижение, несмотря на то, что понятие «маркетинговые коммуникации» гораздо шире.

В данной ситуации следует пояснить, что хотя роль продвижения и заключается в налаживании коммуникаций с определенными целевыми аудиториями, все-таки необходимо учитывать, что коммуникационную функцию выполняют и другие элементы комплекса маркетинга, такие как продукт, место продаж и цена. Зачастую, оформление упаковки товара может донести потребителю гораздо больше информации, чем он мог бы узнать из увиденной рекламы.

Обобщая вышесказанное, предлагается понимать под маркетинговыми коммуникациями процесс обмена информацией, посредством которого идея о товаре, услуге, бренде или организации доносится по определенно-

му каналу до целевой аудитории с целью влияния на ее отношение или поведение.

Деятельность компаний в области коммуникаций можно считать успешной только в том случае, если она в значительной степени достигает поставленных целей и задач. Как уже было сказано, при воздействии на целевую аудиторию основной целью маркетинговых коммуникаций является изменение ее отношения или поведения, т. е. перевод из одного состояния в другое. Задачи, поставленные в соответствии с вышеуказанной целью, могут касаться различных аспектов деятельности и быть очень многообразными. К числу наиболее распространенных задач маркетинговых коммуникаций относятся следующие: информирование целевой аудитории о существовании организации, ее товарах и услугах; формирование благоприятного отношения потребителей к организации и ее продукции; убеждение потребителей отдать предпочтение именно продукции и маркам данной организации, делать покупки в определенных магазинах, посещать определенные мероприятия; побуждение покупателя к действию; ускорение акта покупки и т. д.

Для проведения эффективной коммуникационной политики необходимо разобраться в том, как же действуют коммуникации, а именно, рассмотреть структуру коммуникативного процесса.

Под процессом маркетинговых коммуникаций (англ. marketing communications process) предлагается понимать взаимодействие участников коммуникации, в ходе которого сообщение передается от отправителя к получателю. Рассмотрим модель процесса маркетинговых коммуникаций, которая была разработана нами на основании уже существующих моделей (рис. 1).

Коммуникативный процесс начинается с формулирования отправителем определенной идеи. Затем данная идея кодируется и превращается в коммуникационное сообщение, которое передается по средствам распространения информации. Когда сообщение доходит до получателя, оно должно быть декодировано (расшифровано). Смысл, который несет сообщение, интерпретируется получателем, и происходит восприятие сообщения.

После воздействия полученной информации у получателя возникает ответная реакция.

Важность маркетинговых коммуникаций в функционировании и развитии организации обуславливает необходимость системного управления данной проблемой. Несмотря на это многие исследователи не рассматривают маркетинговые коммуникации как систему, анализируют каждый элемент как самостоятельный.

Мы считаем, что коммуникационные элементы тесно взаимосвязаны между собой и часто направлены на реализацию единых целей и задач, что требует их обязательного рассмотрения в рамках взаимодействующей совокупности.

Система маркетинговых коммуникаций (англ. marketing communications system), без сомнения, может быть отнесена к классу сложных систем, так как характеризуется большим числом элементов и процессов, а также их использованием в различных сочетаниях. Анализ и разработку данного рода систем необходимо проводить в рамках системного подхода, который представляет собой современный инструмент по исследованию плохо структурированных сложных систем как единого целого.

Достаточно емкое определение СМК с этой точки зрения предлагает Е. Н. Голубкова. Она считает, что «система маркетинговых коммуникаций – это целенаправленное и комплексное воздействие на внешнюю и внутреннюю среду фирмы для достижения основных стратегических целей и решения оперативных задач» [6]. Главный редактор журналов «Маркетинг и реклама» и «Маркетинговые исследования в Украине» Е. В. Ромат определяет систему маркетинговых коммуникаций как «комплекс, объединяющий участников, каналы и приемы коммуникаций организации, направленный на формирование получателем коммуникаций определенных целевых установок, которые в конечном итоге способствуют достижению ее маркетинговых целей» [7].

С точки зрения системного подхода, автор определяет СМК как часть комплекса маркетинга, представляющую собой совокупность взаимосвязанных коммуникационных элементов, направленных на достижение еди-

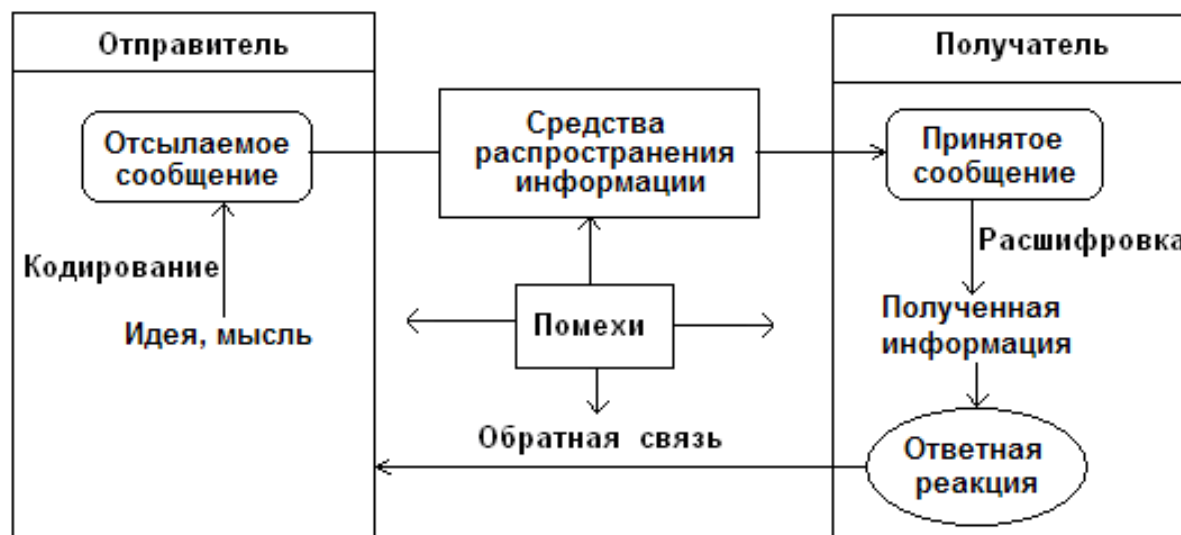


Рис. 1. Процесс маркетинговых коммуникаций

ных целей маркетинговых коммуникаций. Стоит отметить, что вся СМК в совокупности должна определяться общим планом маркетинга и маркетинговыми целями, а каждый коммуникационный элемент должен функционировать в такой схеме, которая способствует достижению данных целей.

Российские специалисты в области маркетинга и маркетинговых коммуникаций А. В. Арланцев и Е. В. Попов отмечают, что теорией маркетинга к настоящему времени разработан и описан обширный набор элементов маркетинговых коммуникаций, структурирован процесс коммуникации, предложены схемы планирования и реализации коммуникационной политики. Вместе с тем в современной экономической литературе до сих пор нет четкой систематизации маркетинговых коммуникаций, имеющей практическую значимость для российских предприятий [8].

Отсутствие логичной и понятной систематизации приводит к существенному осложнению процедуры разработки эффективных коммуникационных программ и внедрения их в деятельность. По нашему мнению, передовые отечественные разработки в области маркетинговых коммуникаций, а также богатый опыт зарубежных исследователей требуют адаптации к современным условиям российского рынка.

На протяжении всего времени изучения маркетинговых коммуникаций различными исследователями существовали разногласия по поводу того, какие элементы входят в систему маркетинговых коммуникаций.

Бельгийский профессор Ж. Ж. Ламбен считает, что основными элементами СМК являются реклама, личная продажа, стимулирование продаж и связи с общественностью [3]. А. В. Арланцев и Е. В. Попов разделяют примерно тот же подход, считая, что для российских предприятий, действующих на потребительском рынке, наибольшую практическую значимость представляет клас-

сификация, в которой систему маркетинговых коммуникаций составляют четыре основных элемента: реклама, формирование общественного мнения, персональные продажи и стимулирование сбыта [8].

В соответствии с утверждениями данных авторов, можно сделать вывод о том, что из существующих подходов к классификации элементов СМК наибольшее распространение получил подход, согласно которому набор элементов коммуникационного воздействия классифицируется с помощью понятия продвижения комплекса маркетинга. По нашему мнению, эта проблема является следствием отождествления маркетинговых коммуникаций с комплексом продвижения, на что уже указывалось ранее.

К четырем перечисленным элементам системы маркетинговых коммуникаций Ф. Котлер и К. Л. Келлер добавляют еще два – прямой маркетинг и спонсорство [2]. Дж. Барнетт и С. Мориарти, помимо выделения прямого маркетинга и спонсорства, относят к системе маркетинговых коммуникаций такие отдельные элементы, как специальные средства для стимулирования торговли, рекламно-оформительские средства для мест продажи, упаковку, специальные сувениры, предоставление лицензии (практика продажи права на использование фирменных символов компании или ее товара) и сервисное обслуживание [1]. Известный российский специалист по социологии и маркетинговым коммуникациям И. В. Крылов отдельно выделяет такой элемент системы маркетинговых коммуникаций, как участие в выставках и ярмарках [9].

Мы считаем, что ядро СМК составляют такие базовые элементы, как реклама, публич рилэйшинз, стимулирование сбыта и директ-маркетинг. Составляющие перечисленных базовых элементов являются основой комплексных коммуникационных элементов – мерчандайзинга, событийного маркетинга, вирусного маркетинга, брендинга, программы лояльности и др. (рис. 2).

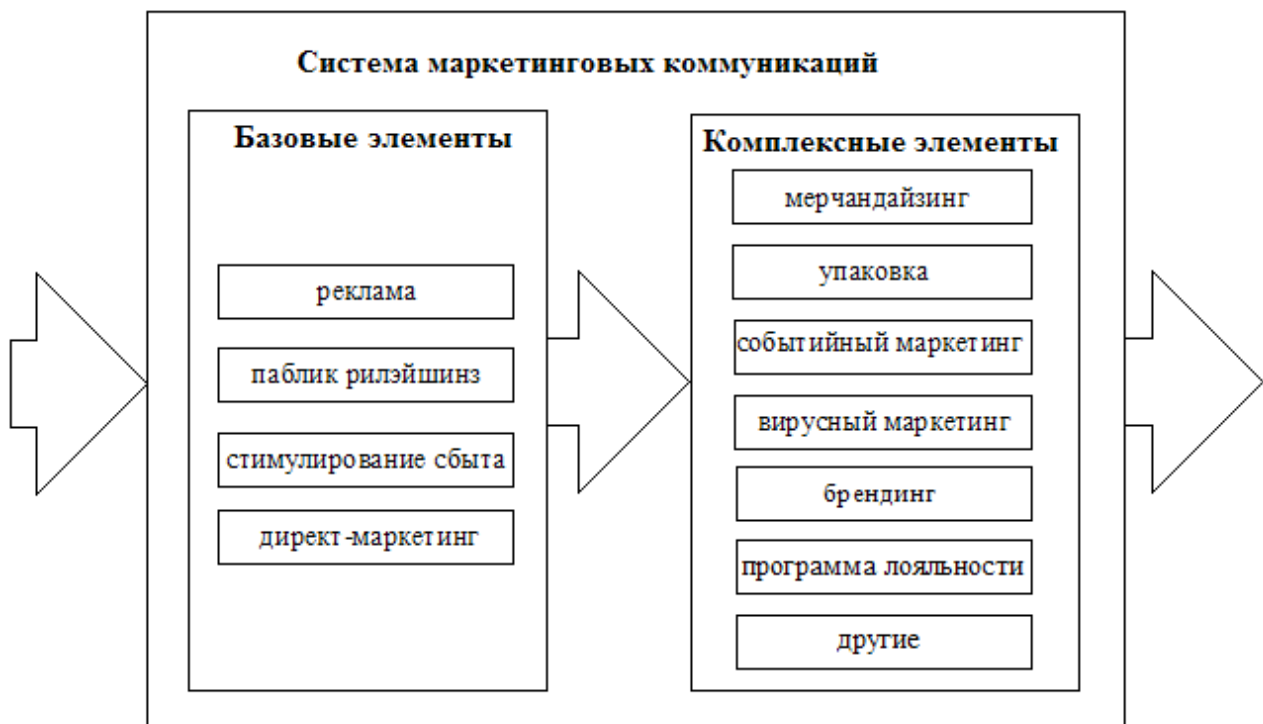


Рис. 2. Структура системы маркетинговых коммуникаций

Стоит также отметить, что четко выделить какой-то элемент из СМК не всегда получается по причине отсутствия между ними четкого разделения. В связи с этим наблюдаются примеры тесной взаимосвязи элементов, а также взаимопроникновения отдельных коммуникационных элементов.

Для более четкого понимания данного вопроса, были введены следующие определения базовых и комплексных элементов системы маркетинговых коммуникаций.

Реклама (англ. advertising, AD) – базовый элемент СМК, представляющий собой любую оплаченную форму неличного представления целевой аудитории фактов об организации, ее товарах, услугах, идеях и т. д. Отличительными характеристиками рекламы являются безличная направленность на аудиторию, массовость охвата и планируемость. Средствами распространения рекламной информации являются телевидение, радио, газеты, журналы, Интернет, наружная реклама и др.

Паблик рилэйшинз (англ. public relations, PR) – базовый элемент СМК, состоящий из деятельности, направленной на обеспечение благожелательного отношения к общему образу фирмы, ее брендов или продукции со стороны широких слоев населения. Благожелательное отношение к фирме завоевывается с помощью таких PR-мероприятий, как публичные выступления, публикации и интервью в СМИ и т. д.

Стимулирование сбыта (англ. sales promotion, SP) – базовый элемент СМК, состоящий из кратковременных побудительных средств, направленных на увеличение активности потребителей, посредников и торгового персонала. Инструментами стимулирования сбыта являются конкурсы, скидки, премии, дегустации, подарки, бесплатные образцы и т. д.

Директ-маркетинг (англ. direct-marketing, DM) – базовый элемент СМК, с помощью которого осуществляется прямое личное обращение к представителям целевой аудитории для получения прямого отклика. Прямой отклик может быть в виде прямого заказа на товар или услугу, запроса на дальнейшую информацию, обращения за услугой (товаром) в офис (магазин) и т. д. Основными формами директ-маркетинга являются личная продажа, директ-мейл, каталог-маркетинг, телефон-маркетинг, телемаркетинг, интернет-маркетинг и т. д.

Мерчандайзинг (англ. merchandising) – комплексный элемент СМК, направленный на организацию коммуникаций с потребителями непосредственно в торговой точке. Инструментами мерчандайзинга являются организация выкладки и расположения торгового оборудования, контроль товарных запасов, размещение POS-материалов (рекламных материалов и материалов для оформления мест продаж), организация освещения, звукового сопровождения и определенного запаха в торговой точке.

Непосредственную связь с мерчандайзингом имеет такой комплексный элемент СМК, как упаковка (англ. package). По нашему мнению, основными функциями упаковки, с точки зрения коммуникации с потребителями, являются следующие: привлечение внимания; информирование покупателя о свойствах, ингредиентах и особенностях применения товара; убеждение покупателя в достоинствах товара; стимулирование покупки (на упа-

ковке может быть информация о наградах, конкурсах для покупателей и др.).

Событийный маркетинг (англ. event marketing) – комплексный элемент СМК, направленный на организацию коммуникаций с целевой аудиторией посредством организации специальных ярких и запоминающихся событий. Можно выделить следующие варианты событий: презентации, церемонии открытия, праздники, ярмарки и выставки, встречи, круглые столы, конференции и семинары, годовщины и юбилеи, спонсирование мероприятий и т. д.

Вирусный маркетинг (англ. viral marketing) – комплексный элемент СМК, при воздействии инструментов которого человек «заражается» идеей распространения полученной информации и сам становится активным рекламоносителем. Основная задача вирусного маркетинга – вызвать волну распространения информации. Для этого необходимо создать информационный вирус, т. е. то, что захватывает внимание, оттесняет на задний план обычные жизненные интересы и стереотипы поведения и чем очень хочется поделиться со своим окружением.

Брендинг (англ. branding) – комплексный элемент СМК, воздействующий на целевую аудиторию с помощью фирменного стиля, товарных знаков, отличительного оформления и способствующий целостному и благоприятному восприятию бренда.

Программа лояльности (англ. loyalty program) – комплексный элемент СМК, направленный на создание долгосрочных и взаимовыгодных отношений с потребителями с целью перевода их в статус постоянных клиентов. Одним из самых распространенных инструментов программ лояльности в России являются дисконтные программы.

Мы считаем, что до конца 90-х гг. прошлого века практически все компании рассматривали элементы системы маркетинговых коммуникаций как самостоятельные виды деятельности. В связи с этим, в организациях существовали такие обособленные структурные подразделения, как отделы маркетинга, пресс-службы, отделы рекламы, которые не только были в подчинении у разных управляющих и имели свои специфические цели, но и практически не взаимодействовали между собой. Разделение коммуникационных элементов на виды деятельности подтверждает и существование в то время большого количества организаций, работающих по специализированным направлениям. Среди них выделялись рекламные агентства, дизайнерские студии, директ-маркетинговые агентства, а также компании, занимающиеся организацией праздников и проведением промо-мероприятий.

В настоящее время ситуация кардинально меняется. Разрозненные подразделения компаний объединяются в дирекции по маркетингу с единым руководством и общими целями. Работающие на рынке мелкие специализированные организации постепенно вытесняются агентствами маркетинговых коммуникаций и рекламными агентствами полного цикла, которые способны самостоятельно разрабатывать и реализовать коммуникационные кампании заказчиков от начала до конца. Вероятно, существуют весомые причины, способствующие таким глобальным изменениям, и на определении данных причин необходимо заострить особое внимание.

При рассмотрении вышеперечисленных коммуникационных элементов можно заметить, что каждый из них обладает определенными преимуществами и недостатками. Примером может послужить паблик рилэйшинз. Наряду с такими преимуществами, как массовый охват и долгосрочное воздействие на целевую аудиторию, в нем присутствуют такие недостатки, как отсутствие быстрой отдачи и ярко выраженное косвенное влияние на увеличение объема продаж. Получается, что одного, наиболее эффективного, коммуникационного элемента не существует, и использование того или иного элемента зависит от сложившейся рыночной ситуации, поставленной цели и располагаемых ресурсов. Кроме того, применять какой-то один выбранный элемент СМК нецелесообразно, а иногда и практически невозможно, например, проводить акцию по снижению цен, предварительно не организовав рекламную поддержку.

По нашему мнению, для обеспечения высокой эффективности коммуникационного воздействия обязательным условием является не просто совместное применение различных коммуникационных элементов, а согласованность их воздействия и ориентированность на единую цель. При сочетании отдельных элементов СМК и их направленности на единую цель возникает так называемый синергетический эффект. Данный эффект основан на комбинированном воздействии двух или более элементов, объединенных одной целью, которое характеризуется тем, что их совместное действие существенно превосходит эффект каждого отдельно взятого элемента и их суммы.

Существование синергетического эффекта привело к рождению концепции, получившей название интегрированных маркетинговых коммуникаций (англ. integrated marketing communications, IMC). Активное развитие концепции интегрированных маркетинговых коммуникаций (ИМК) началось в первой половине 90-х гг. прошлого века и связано с именами таких известных исследователей, как П. Смит, Д. Шульц, С. Танненбаум, Р. Лаутерборн, Ян Линтон и Том Бренен.

В процессе исследования нами были выделены факторы, которые возникли под воздействием сложившихся тенденций рынка и вызвали постепенный переход от традиционной организации коммуникационного воздействия к концепции интегрированных маркетинговых коммуникаций.

Во-первых, это увеличение коммуникационного давления на потребителя, о котором свидетельствует ежегодное повышение объемов рынка маркетинговых коммуникаций. Физиологические особенности человека уже не позволяют усвоить объемы информации, обрушивающиеся на него каждый день, и начинает действовать защита человеческого сознания от перенасыщения информацией.

Во-вторых, это увеличивающаяся доля стабильных рынков и превышение их количества над количеством развивающихся рынков. Сложившаяся ситуация способствует обострению конкурентной борьбы и повышению внимания компаний к эффективности системы маркетинговых коммуникаций.

В-третьих, это снижение эффективности традиционных видов массовой рекламы. Особенно данная тенденция касается рекламы на телевидении, снижение эффек-

тивности которой происходит на фоне постоянного роста стоимости. Для достижения поставленных целей компаниям приходится прибегать к значительному увеличению рекламных бюджетов и усиленному контролю за их использованием.

В-четвертых, изменение структуры каналов распространения коммуникационных сообщений и появление новых способов распространения информации. Данная тенденция возникает вследствие научно-технического прогресса и развития высоких технологий, заставляя компании задумываться о выборе новых, более продвинутых интерактивных каналов и постоянно анализировать их отдачу.

В-пятых, это изменение психологических особенностей потребителей, которое связано с глобализацией и другими социально-экономическими явлениями последних лет. В связи с этим запросы потребителей в отношении коммуникаций компании становятся более разнообразными и требовательными.

В-шестых, это постепенный переход от массового коммуникационного воздействия к воздействию на представителей узкой целевой группы.

Стоит отметить, что перечисленные факторы способствуют пересмотру сложившихся методов работы и переходу на более современные схемы, которые подразумевают оптимизацию, координацию и интеграцию различных элементов коммуникационного воздействия, а также рассмотрение их как единого блока.

Стоит отметить, что интегрированные маркетинговые коммуникации достаточно часто воспринимаются некоторыми людьми как сложение известных и давно используемых видов коммуникаций (например, продажа товара по сниженной цене с предварительной рекламной поддержкой). Данная позиция является неверной, так как сложение – это просто прибавление чего-либо к чему-либо, а интеграция подразумевает взаимопроникновение и создание чего-то единого на основе нескольких элементов.

Таким образом, можно ввести следующие обязательные условия, при которых возможна эффективная реализация концепции ИМК:

1. Осуществление коммуникационных обращений, исходя из единых идей, позиций и целей, при реализации которых должен сформироваться единый желаемый образ отправителя.
2. Применение результативных комбинаций различных коммуникационных элементов, не противоречащих друг другу, и благодаря этому осуществление комплексного воздействия на целевую аудиторию.
3. Эффективная координация воздействия различных элементов системы маркетинговых коммуникаций по времени и оптимальная последовательность их применения в ходе реализации коммуникационной программы.

Библиографические ссылки

1. Барнетт Дж., Мориарти С. Маркетинговые коммуникации. Интегрированный подход. 1-е изд. СПб.: Питер, 2001.
2. Котлер Ф., Келлер К. Л. Маркетинг, менеджмент. 12-е изд. СПб.: Питер, 2007.
3. Ламбен Ж. Ж. Стратегический маркетинг. Европейская перспектива. СПб.: Наука, 1996.

4. Стефанов С. И. Реклама и полиграфия: опыт словаря-справочника. М. : Гелла-принт, 2004.
5. Беркутова Т. А. Маркетинговые коммуникации : учеб. пособие. М. : Феникс, 2008.
6. Голубкова Е. Н. Маркетинговые коммуникации : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Финпресс, 2003.
7. Ромат Е. В. Реклама. 2-е изд. СПб. : Питер, 2008.
8. Арланцев А. В., Попов Е. В. Синергизм коммуникационного инструментария // Маркетинг в России и за рубежом. 2001. № 1.
9. Крылов, И. В. Маркетинг (социология маркетинговых коммуникаций). М. : Изд-во «Центр», 1998.

A. V. Khudonogov

MODERN SYSTEM OF MARKETING COMMUNICATIONS AND STRUCTURAL CORRELATION OF ITS ELEMENTS

Essence of communications in marketing in the view of modern principles of management of communication community is examined. Structure of business marketing communications system is worked up and elements included in its make-up are defined. Integrated method of management of marketing communications and basic tendencies, which define development of marketing communications in modern conditions, are analyzed.

Keywords: marketing, marketing communications, advertising.

© Худонов А. В., 2010

УДК 339.37

Н. А. Юрова

ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ АССОРТИМЕНТОМ ТОВАРОВ В РИТЕЙЛЕ

Рассмотрены существующие инструменты и методы работы с ассортиментом товаров в розничной торговле и предложена комплексная методика его управления, основанная на функциях коммерческой деятельности.

Ключевые слова: ассортимент товаров, инструменты управления ассортиментом товаров, методы управления ассортиментом товаров, розничная торговля (ритейл).

Изменение поведения покупателей и обострение конкуренции заставляют ритейлеров искать такие способы управления ассортиментом товаров, которые позволят им более эффективно позиционировать свое товарное предложение. При этом следует поддерживать и наращивать его рыночную долю, сокращая издержки производства и обращения товаров, увеличивая доходность и повышая степень удовлетворения растущих потребностей покупателей. По мнению Е. Дихтеля и Х. Хершгена, работа с ассортиментом в розничной торговле заключается в создании такой совокупности отдельных товаров, которая имеет особые преимущества с точки зрения покупателей [1]. Из этого следует, что управление ассортиментом является важнейшей задачей коммерческой деятельности, маркетинга и конкурентной борьбы. Значение поиска новых методов особенно возросло в последние десятилетия с точки зрения экономического роста ритейлера.

Управление ассортиментом товаров в розничной торговле рассматривалось многими отечественными и зарубежными авторами в различных аспектах. Большинство ученых изучают этот процесс отдельно, не связывая его с деятельностью всего предприятия. Отсутствие системного подхода не позволяет комплексно подойти к ас-

сортименту товаров. В связи с этим существует необходимость в разработке современной методики управления, позволяющей повысить общую экономическую эффективность розничных торговых предприятий и наиболее полно удовлетворить запросы потребителей.

Целью работы является разработка современного метода управления ассортиментом товаров в розничной торговле на основе анализа существующих инструментов и методов. Объектом исследования служит система управления ассортиментом товаров в ритейле.

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной методики управления ассортиментом на основе функций коммерческой деятельности, позволяющей повысить общую экономическую эффективность розничных торговых предприятий и удовлетворить спрос покупателей. Область применения предложенных разработок – предприятия розничной торговли.

В настоящее время используется множество инструментов работы с номенклатурой товаров, под которыми понимается совокупность приемов, применяемых в области управления ассортиментом. С помощью инструментов можно проанализировать такие параметры, как уровень прибыли (правило Парето), вклад товара в ре-

зультат работы магазина (ABC-анализ), стабильность продаж (XYZ-анализ), статус каждого товара в ассортиментной матрице (совмещенный ABC- и XYZ-анализ), время существования продукта и рынка (матрица Ансоффа), доля рынка и скорость объема продаж (матрица BCG), рыночная привлекательность и эффективность ассортимента (матрица GE), время нахождения товара на рынке (концепция ориентации на жизненный цикл товаров (ЖЦТ)).

Правило Парето, или принцип «80/20», выявлено в 1906 г. и исходит из того, что за 20 % последствий отвечает 80 % причин. Согласно утверждениям Вильфредо Парето, в любом процессе малое число причин (20 %) жизненно важно, а 80 % не оказывает существенного влияния на результат [2].

Аспекты применения этого инструмента для целей управления ассортиментом достаточно многообразны, и однозначного алгоритма не существует. Однако в общем виде это правило звучит так: двадцать процентов ассортимента товаров приносит восемьдесят процентов прибыли, и, наоборот, восемьдесят процентов ассортимента товаров приносит двадцать процентов прибыли. На основе такого деления товарной номенклатуры принимаются решения по концентрации внимания и повышению уровня поддержания группы товаров, приносящей 80 % прибыли, и сокращению группы товаров, приносящей остальные 20 % прибыли компании.

Одним из универсальных и распространенных инструментов работы с ассортиментом является появившийся в 1948 г. ABC-анализ, который основывается на принципе Парето. В рамках общего рейтингового списка выделяют три группы объектов – А, В и С, которые отличаются по своей значимости и вкладу в оборот или прибыли магазина:

товары А – самые важные товары, приносящие первые 50 % прибыли или оборота;

товары В – средние по важности, приносящие еще 30 % прибыли или оборота;

товары С – проблемные товары, приносящие остальные 20 % прибыли или оборота [2].

Такое соотношение процентов как раз и обусловлено правилом Парето: выделяются главные 80 % прибыли или оборота (в данном случае это 50 % + 30 %, но можно использовать и другие пропорции) и оставшиеся 20 %. Очевидно, что необходимо жестко контролировать наличие в ассортименте товарных позиций класса «А». По отношению к товарным позициям класса «В» контроль может быть текущим, а по отношению к позициям класса «С» – периодическим.

XYZ-анализ – статистический инструмент, позволяющий анализировать и прогнозировать стабильность продаж отдельных видов товаров и колебания уровня потребления тех или иных ресурсов. Этот прием обычно применяется для ранжирования и группирования ассортиментных позиций по степени прогнозируемости объема спроса или оборачиваемости товара [2].

XYZ-анализа сходен с ABC-анализом и основывается на том же принципе: товары подразделяются на три группы – X, Y, Z, исходя из значения коэффициента вариации за определенный период времени. Этот анализ делит объекты по степени отклонения от среднего показателя,

высчитываемого за несколько периодов. XYZ-анализ показывает стабильность или нестабильность спроса. Чем стабильнее спрос на товар, тем легче им управлять, тем ниже потребность в товарных запасах и легче планировать движение продукта.

Совмещенный ABC- и XYZ-анализ позволяет более точно рассмотреть ассортимент и понять, как можно управлять теми или иными группами и категориями товаров. В результате данного совмещения получается 9 групп объектов анализа по двум критериям – степень влияния на конечный результат (ABC) и стабильность (прогнозируемость) этого результата (XYZ) [2].

Группы AX, AY и AZ требуют наибольшего внимания, тщательного планирования, учета и контроля. Для ресурсов категории CX, CY, CZ применяются укрупненные методы анализа. Такой взгляд на ассортимент дает уже более полную картину, и на основании его можно принимать управленческие решения более обоснованно.

Матрица Ансоффа (матрица «товар–рынок») впервые была опубликована в 1957 г. Игорем Ансоффом, который предложил разбиение ассортимента на основе критериев времени присутствия товара на рынке и времени существования соответствующего рынка. Суть модели заключается в выборе одной из четырех базовых стратегий достижения целей стратегического развития компании на рынке:

- проникновение на рынок – фирма выступает на существующем рынке с существующим товаром;
- развитие рынка – фирма выступает на новом рынке, но с существующим товаром;
- разработка товара – фирма выступает на существующем рынке, но с новым товаром;
- диверсификация – фирма выступает на новом рынке с новым товаром [3].

Матрица BCG основана специалистами Бостонской консалтинговой группы в конце 1960-х гг. Ее классификационными признаками являются темпы роста рыночного спроса, отношение доли на рынке товара данной фирмы к соответствующей доле основного конкурента, объем инвестиций в производство товара, объем прибылей и др. По результатам построения матрицы BCG выделяются четыре группы товаров (в соответствии с попаданием конкретного товара в соответствующий квадрант): «звезды», «дойные коровы», «дикие кошки», «собаки». Для каждой из этих групп существует приоритетная стратегия [4].

Матрица GE (McKinsey), появившаяся в начале 1970-х гг., совместно предложена корпорацией General Electric и консалтинговой компанией McKinsey & Co. В ее основу легли два показателя: рыночная привлекательность и эффективность бизнеса (ассортимента) [3]. Главной особенностью модели является то, что в ней впервые для сравнения стали рассматривать не только «физические» факторы (объем продаж, прибыль и т. д.), но и субъективные характеристики, такие как изменчивость доли рынка, технологии, состояние кадрового обеспечения и т. д.

Концепция ориентации на жизненный цикл товара впервые была опубликована американским маркетинговым Теодором Левитом в 1965 г. и исходит из того, что любой товар проходит определенные стадии развития:

стадию внедрения на рынок, стадию роста, зрелости, устаревания (спада) [4]. Необходимость использования этой концепции состоит в том, что при нахождении на определенной стадии ЖЦТ объем сбыта (соответственно, доля на рынке) и объем прибыли разный.

Таким образом, анализ различных инструментов работы с товарным ассортиментом позволил выявить свои достоинства и недостатки (табл. 1), а также определенное сходство между ними. Все приемы основаны, в целом, на исследовании рыночного восприятия продукции и на оценке продукции с точки зрения экономической эффективности предприятия.

Практически все инструменты предполагают наличие длительной статистики о продажах по каждой группе товаров, а также четкого учета товарной номенклатуры, что не всегда возможно на розничных предприятиях. В некоторых магазинах сезонные товары обновляются каждые 1–2 месяца и не позволяют иметь данные о реализации за длительный период. Другой пример: при открытии магазина или наличии товаров-новинок также отсутствует статистика. Представленные приемы работы с номенклатурой позволяют сделать лишь анализ и вывод по эффективности продажи тех или иных товаров.

Инструменты не дают ответа на вопрос о необходимости введения новых позиций и ориентированы в большей степени на выявление менее выгодных. Прежде чем принять решение о выводе товаров из ассортимента, не-

обходимо убедиться, что они не осуществляют особенной функции: это не образцы, не новинки, не запчасти, не части комплекта и т. д. Таким образом, инструменты работы с ассортиментом не описывают непосредственно алгоритм формирования номенклатуры товаров, а могут применяться только для анализа уже существующих позиций.

Рассмотрим *методы* работы с ассортиментом товаров, под которыми будем подразумевать аналитический аппарат исследования процессов управления товарной номенклатурой. На розничных торговых предприятиях обычно используют следующие методы: ассортиментного перечня, потребительского комплекса, формирования ассортимента по О. В. Чкаловой, управления ассортиментом по товарным категориям (метод категорийного менеджмента), управления ассортиментом на основе функций коммерческой деятельности (табл. 2).

Метод ассортиментного перечня предполагает наличие в продаже стандарта товарного предложения, заявленного в обязательном ассортиментном перечне. Метод ориентирован на удовлетворение твердо сформулированного спроса. Л. П. Дашков и В. К. Памбукчиянц отмечают, что ассортиментные перечни для конкретных магазинов разрабатываются с учетом типа магазина, его торговой площади, места расположения, ассортимента, наличия конкурентов, контингента обслуживаемого населения и утверждаются администрацией субъекта Фе-

Таблица 1

Сравнительный анализ инструментов работы с ассортиментом

Инструмент	Достоинства	Недостатки
Правило Парето	Прост в использовании Универсален	Пропорция 80/20 не является конкретной величиной и может отклоняться до $\pm 20\%$
ABC-анализ	Позволяет определить наиболее приоритетные позиции в ассортименте и выделить аутсайдеров	Не позволяет оценивать сезонные колебания продаж Не может применяться в магазинах с ежемесячным обновлением ассортимента (например, бутики модной одежды), так как предполагает наличие статистики продаж за несколько (не менее 3) месяцев
XYZ-анализ	Позволяет прогнозировать стабильность продаж и уровень потребления	Внешние факторы (сезонность спроса, регулярность поставок, колебания цен и др.) могут вызывать значительные колебания продаж и, как следствие, высокие показатели коэффициента вариации Сложен в применении для сезонных товаров
Совмещенный ABC- и XYZ-анализ	Позволяет повысить эффективность управления товарными запасами Позволяет выработать оптимальную закупочную политику	Не применим для сезонных товаров и товаров, имеющих короткий ЖЦ Обязательно наличие четкого учета всех товаров и статистики продаж
Матрица Ансоффа	Дает наглядное представление базисных стратегий	Ориентация только на рост Ограничение: две переменные (продукт и рынок), каждая из которых может принимать только два значения – действующий и новый, что очень проблематично, если другие условия имеют значение для успеха
Матрица BCG	Возможность отслеживать траектории движения товаров в матрице и корректировать ассортиментную политику	Отсутствие критериев, относящих товары к той или иной группе Сложность в получении данных для построения матрицы
Матрица GE	Может применяться в любых рыночных условиях	Скучное количество стратегий поведения фирмы на рынке (расширение, защита или сбор урожая) Является статичной моделью
Концепция ориентации на ЖЦТ	Возможность предвидеть поведение товара на рынке в зависимости от стадии ЖЦ	Не все товары проходят 4 стадии ЖЦ (например, сезонные товары) Отсутствие критериев, определяющих переход из одной стадии в другую Отсутствие ориентации на доходность товаров

дерации и руководителями предприятий розничной торговли [5]. Они составляются обычно на год и подлежат неукоснительному исполнению, контролю, ревизии, при необходимости – обновлению, модификации. Указанные в перечне товары должны присутствовать в течение всего рабочего дня. Для предприятий розничной торговли советского периода развития экономики перечень был обязательным для исполнения на предприятиях определенного типа. В настоящее время этот перечень определяется ритейлером самостоятельно, исходя из принципа целесообразности и конкурентоспособности. Действующие в настоящее время правила продажи отдельных видов товаров на территории РФ предусматривают рекомендуемые (но не обязательные) виды товарного предложения и торговых услуг. В ассортиментных перечнях товаров предусматривается групповая и внутригрупповая структура ассортимента, а также основные (артикул, модель и т. д.) и дополнительные (размер, полнота, рост и т. д.) признаки разновидностей товаров. Несомненным достоинством таких перечней является возможность контролировать полноту и стабильность фактического ассортимента товаров.

Другим методом работы с ассортиментом товаров в розничной торговле является *потребительский комплекс*, представляющий собой формализованный перечень разновидностей групп товаров, сформированных по функционально-потребительскому признаку и направленных на удовлетворение комплексного спроса целевой покупательской аудитории. Л. А. Брагин и Т. П. Данько указывают на то, что эти комплексы должны учитывать размеры торговой площади предприятий розничной торговли, их месторасположение, а также характеристики целевой аудитории, например, половозрастные особенности, их образ жизни и специфические формы проведения досуга, традиции, сезонные привычки [6]. Потребительские комплексы способствуют оптимизации скорос-

ти и объемов товародвижения, сбалансированности интересов всех участников этого процесса. Потребительский комплекс в силу своих отличий от ассортиментного перечня имеет преимущества в сравнении с ним, поскольку ориентирован на более полное удовлетворение определенных потребностей, обеспечивает экономию времени покупателей, облегчает выбор товаров и услуг, способствует совершению импульсивных покупок.

Выбор одного из двух указанных методов работы с ассортиментом товаров определяется возможностями и амбициями ритейлеров. В то же время Ф. Г. Панкратов и Т. К. Серегина рекомендуют для магазинов, торгующих продовольственными товарами, использовать метод ассортиментного перечня (класс: продовольственные и непродовольственные товары; подкласс: бакалейные товары, кондитерские изделия, овощи и т. д.; виды: разновидности и т. д.), а непродовольственными – потребительского комплекса (комплексы: товары для мужчин, для женщин, для детей и т. д.; микрокомплекс: одежда для женщин, головные уборы, белье, обувь и т. д.; разновидности и т. д.) [7].

Метод формирования ассортимента по О. В. Чкаловой представляет собой алгоритм построения номенклатуры товаров, состоящий из пяти этапов [4].

1. Исследование рынка, которое включает изучение товаров, анализ условий конкуренции, анализ рыночной сегментации, анализ форм и методов сбыта и доведения товара до покупателя.

2. Исследование собственных возможностей предприятия, которое подразумевает анализ материально-технической базы, требования к специализации и ассортименту местных органов власти, анализ объема продаж и структуры ассортимента, выбор участников товародвижения, определение объема закупок, анализ товарных запасов.

3. Выбор ассортиментной стратегии предприятия, подразумевающий наличие определенного плана разви-

Таблица 2

Сравнительный анализ методов работы с ассортиментом

Метод	Достоинства	Недостатки
Метод ассортиментного перечня	Позволяет контролировать полноту и стабильность фактического ассортимента товаров Прост в использовании	Эффективен только при твердо сформулированном спросе Не позволяет реагировать на изменения потребностей покупателей Не рассматривает экономическую эффективность ассортимента
Метод потребительского комплекса	Удовлетворяет комплексный спрос Оптимизирует товародвижение	Не учитывает воздействие факторов внешней и внутренней среды Не позволяет гибко реагировать на изменения потребностей покупателей Не рассматривает экономическую эффективность ассортимента
Метод формирования ассортимента по О. В. Чкаловой	Учитывает воздействие факторов внешней и внутренней среды Описывает методы определения рентабельности ассортимента	Отсутствие системного подхода Не рассматривает влияние ассортимента на общую экономическую эффективность предприятия
Задача выбора поставщика	Оптимизирует закупочную деятельность	Ограничивается только работой с поставщиками Носит субъективный характер
Метод категорийного менеджмента	Ориентирован на запросы покупателей Интеграция усилий товаропроизводителей и продавцов позволяет снизить издержки обращения	Требует многочисленных организационных преобразований Отсутствие критериев деления товаров на категории Большая вероятность сужения ассортимента

тия ассортимента, уровня его широты, полноты, новизны и глубины.

4. Непосредственное формирование ассортимента товаров, состоящее из трех последовательных действий: установление основных групп реализуемых товаров; определение количества видов реализуемых разновидностей товаров по их отличительным признакам; разработка конкретного перечня реализуемых товаров.

5. Определение рентабельности нового ассортимента на основе расчета «точки безубыточности» по каждой товарной группе.

Концепция категорийного менеджмента получила в настоящее время широкое распространение. Ее исследованием занимались такие авторы, как В. Снегирева, Н. Гурова, Б. Харрис, Э. С. Эренберг, В. Затеikin, Т. Нуфферова и др.

Категорийный менеджмент представляет собой самостоятельный вид профессионально осуществляемой деятельности по управлению торговым ассортиментом, направленной на развитие ассортимента в соответствии с объемом и структурой спроса, при наиболее эффективном использовании финансовых, материальных, информационных и трудовых ресурсов. Основным моментом такой концепции является интеграция ритейлеров, товаропроизводителей и поставщиков, причем управление товарной категорией находится в основном в руках последних [8].

Ключевая идея *метода категорийного менеджмента* состоит в выделении категорий в структуре ассортимента с последующим управлением каждой из них по отдельности. Ассортимент товаров в этом случае делится не на товарные группы, а на категории, сформированные по признаку покупательских привычек или предпочтений. Метод категорийного менеджмента включает три этапа:

1. Определение категории: определение товарных категорий и их стратегической роли в общем ассортименте товаров.

2. Планирование категории: определение показателей оценки, формулировка стратегии управления, разработка стратегии и тактики маркетинговых коммуникаций.

3. Внедрение управления категориями: распределение ответственности, контроль товарных категорий.

Таким образом, некоторые инструменты (Принцип Парето, ABC-анализ, XYZ-анализ, совмещенный ABC- и XYZ-анализ, матрица GE, матрица BCG) не согласуются с методами управления ассортиментом (метод ассортиментного перечня, потребительского комплекса), так как подразумевают выведение части неликвидной по их расчетам номенклатуры из списка предлагаемых товаров. Согласно, например, методу ассортиментного перечня, в него включаются социально значимые продовольственные и непродовольственные товары первой необходимости, которые обязательно должны быть в продаже независимо от их рентабельности.

Как показало исследование, в теории управления ассортиментом преобладает товароведный подход. Применение таких методов, по нашему мнению, не позволяет комплексно подойти к стратегическому управлению ассортиментом. Приведенные выше методики носят больше описательный характер и не требуют точных аналитических расчетов. Поэтому они не позволяют в полной

мере реагировать на изменения потребностей покупателей. Формирование номенклатуры рассматривается как отдельный процесс, слабо связанный с повышением общей эффективности розничного торгового предприятия. В связи с этим мы предлагаем новый метод, который базируется на системной взаимосвязи ассортимента и всех функций коммерческой деятельности, обеспечивая при этом устойчивую прибыль путем наиболее полного удовлетворения потребностей покупателей.

Под *функциями коммерческой деятельности* понимается совокупность определенных обязательных действий в процессе обмена, которые предприятия должны совершать для достижения своих целей [9]. Основными из них являются финансовое, материально-техническое, информационное обеспечение, закуп товаров, найм рабочей силы, продажа товаров и услуг.

Особенность современной методики управления ассортиментом на основе функций коммерческой деятельности состоит в том, что она отражает два аспекта: торгово-технологический – предоставление магазином таких товаров, которые необходимы покупателю, и экономический – получение устойчивой прибыли. Удовлетворение спроса покупателей возможно лишь при востребованности ассортимента по количественной и качественной структуре. Для этого необходимо скоординировать все функции розничного торгового предприятия и выработать единую политику по работе с товарным портфелем. Чем выше уровень удовлетворения спроса, тем больше прибыли сможет получить предприятие.

Метод управления ассортиментом на основе функций коммерческой деятельности состоит из шести этапов (табл. 3) и позволяет не только оптимизировать товарную номенклатуру, но и создает возможность учитывать множество экономических факторов, влияющих на нее, своевременно корректировать свои коммерческие усилия по предупреждению нежелательных воздействий этих факторов на общую экономическую эффективность деятельности торговой компании.

Каждый этап имеет определенный перечень показателей, который не является жестко заданным и определяется ритейлерами самостоятельно. При необходимости приведенное содержание этапов может быть дополнено другими пунктами, имеющими существенное значение для деятельности предприятия при управлении ассортиментом товаров.

Планово оценку и анализ ассортимента приведенным выше методом важно проводить регулярно не реже 1 раза в год, в некоторых случаях (особенно при сезонном характере бизнеса) 1 раз в полугодие. Если требуется ситуация, то этой работой нужно заниматься немедленно. Но слишком частая смена ассортимента также нежелательна – любой новый ассортимент должен себя «показать», иначе сложно будет делать выводы и по структуре спроса и по тенденциям спроса.

Преимущества предложенной методики обусловлены тем, что она позволяет управлять ассортиментом комплексно, учитывая важнейшие функции деятельности торгового предприятия: финансовую, материально-техническую, информационную, трудовую, закупочную и функцию продажи. Методика отличается гибкостью, т. е. учитывает особенности и условия функционирования конкретного торгового

предприятия. При наличии достоверной информации субъективность в использовании такой методики мала. Кроме того, полученный результат позволяет наметить конкретные пути повышения эффективности управления ассортиментом и розничного торгового предприятия в целом.

Таким образом, проведенный анализ существующих инструментов и методов работы с номенклатурой выявил ряд недостатков и отсутствие комплексного подхода к управлению ассортиментом товаров в ритейле. Предложенный нами принципиально новый метод на основе функций коммерческой деятельности является наиболее эффективным в современных условиях, поскольку основан на системном подходе и предполагает сквозное управление ассортиментом через все функции коммерческой деятельности. Это позволяет наиболее полно удовлетворить запросы потребителей и обеспечить максимально эффективную работу предприятия в целом.

Библиографические ссылки

1. Дихтель Е., Хершген Х. Практический маркетинг : пер. с нем. М. : Высш. шк., 2005.
2. Бузукова Е. А. Ассортимент розничного магазина: методы анализа и практические советы. СПб. : Питер, 2007.
3. Федько В. П., Федько Н. Г. Основы маркетинга. 4-е изд. Ростов н/Д : Феникс, 2005.
4. Чкалова О. В. Формирование и развитие розничной торговой сети в мегаполисе : моногр. Н. Новгород : ИКИ, 2008.
5. Дашков Л. П., Памбухчиянц В. К. Коммерция и технология торговли : учебник. 7-е изд., перераб. и доп. М. : Дашков и К°, 2006.
6. Торговое дело: экономика, маркетинг, организация : учебник / под общ. ред. Л. А. Брагина, Т. П. Данько. М. : Инфра-М, 2006.
7. Панкратов Ф. Г., Серегина Т. К. Коммерческая деятельность : учебник для вузов. 9-е изд., перераб. и доп. М. : Дашков и К°, 2006.
8. Снегирева В. В. Розничный магазин: управление ассортиментом по товарным категориям. СПб. : Питер, 2005.
9. Гуняков Ю. В. Коммерция. Теория коммерческой деятельности : в 2 кн. Кн. 1. Метод познания. Красноярск : Изд-во КГТЭИ, 2008.

Таблица 3

Характеристика этапов метода управления ассортиментом на основе функций коммерческой деятельности

Этапы	Содержание этапов
Анализ зависимости управления ассортиментом от финансового обеспечения торгового предприятия	Анализ состава и структуры собственных и заемных средств, вложенных в товарные запасы Анализ валовой прибыли
Анализ управления ассортиментом с позиции материально-технического обеспечения	Анализ состава и структуры основных фондов, необходимых для управления ассортиментом, и эффективности их использования Анализ состава и структуры оборотных средств, необходимых для управления ассортиментом, и эффективности их использования
Анализ взаимосвязи управления ассортиментом и функции информационного обеспечения	Исследование рынка Исследование собственных возможностей Анализ рекламно-информационной деятельности
Анализ управления ассортиментом как элемент функции закупа товаров	Анализ ассортимента Анализ поставщиков
Анализ управления ассортиментом с позиции трудового обеспечения	Анализ трудовых ресурсов, занимающихся управлением и реализацией ассортимента товаров
Анализ продаж и дополнительных услуг	Анализ продаж Анализ дополнительных услуг

N. A. Yurova

INSTRUMENT AND METHODS OF GOODS ASSORTMENT MANAGEMENT IN RETAIL

The author has critical studied all the existed instruments and methods of work with the goods assortment in retail and suggested the complex methodic of the management, based on the function of commercial activity.

Keywords: goods assortment, instruments of goods assortment management, methods of goods assortment management, retail.

© Юрова Н. А., 2010

Л. В. Пригода

ИМИДЖ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Исследована роль нематериальных активов в формировании инвестиционно-привлекательного имиджа муниципального образования (МО) на примере МО «Город Майкоп» Республики Адыгея и МО «Город Краснодар», выявлены основные тенденции развития рынка муниципальных ценных бумаг, предложена методика экспертной оценки имиджа муниципального образования и степени доверия органам муниципальной власти по методу Дельфи.

Ключевые слова: муниципальное образование, имидж муниципалитета, инвестиционная привлекательность.

Проведение в России реформ местного самоуправления, вызвавших значительную дифференциацию форм собственности, одновременно породило важнейшую экономическую проблему – обеспечение рационального, эффективного с экономико-социальных позиций управления значительной по размерам муниципальной собственностью. Как показывает анализ отчетных данных за 2007 г., доходы от использования имущества, находящегося в муниципальной собственности, составляют основную долю (42,7 %) неналоговых доходов муниципальных образований Российской Федерации. В городских округах доля данного вида дохода в общей сумме неналоговых доходов составляет 42,0 %, в муниципальных районах – 39,3 %, в поселениях – 71,7 %. Практически во всех странах муниципальные власти имеют в собственности или в том или ином виде контролируют значительные объемы местных (муниципальных) активов. Однако лишь небольшое количество муниципалитетов воспринимает данные ресурсы как «портфель» активов, структура которого может изменяться в зависимости от стратегических целей развития местного сообщества.

Как правило, управление активами местного сообщества ведется без какой-либо четкой привязки к долгосрочным целям развития муниципалитета и сводится лишь к решению текущих задач. Вопросы же развития местных активов предлагается решать с помощью массированных инвестиций в модернизацию муниципальной инфраструктуры. Тем не менее, анализ мировой практики показывает, что детальное рассмотрение каждого вида активов, выработка стратегического плана управления, а также определение оптимальной структуры активов по-

зволяет находить резервы для повышения эффективности управления активами даже в условиях дефицита финансовых ресурсов.

В литературе, посвященной теме муниципальных активов, категория «управление активами» трактуется достаточно широко и определяется спецификой страны, в контексте которой рассматривается проблема. Тем не менее, в российской практике недостаточно внимания уделяется нематериальным активам, в частности имиджу муниципалитета и степени доверия органам муниципальной власти как со стороны населения МО, так и со стороны потенциальных инвесторов (табл. 1).

Данная группа активов является составляющей повышения инвестиционной привлекательности и установления высокого кредитного рейтинга муниципального образования. В свою очередь, высокий кредитный рейтинг позволяет муниципалитетам выйти на новый качественный уровень инвестиционной активности.

В отличие от корпорации, которая является преимущественно экономическим субъектом заимствований, муниципальное образование является одновременно экономическим, социальным и политическим субъектом заимствования.

С точки зрения объективных параметров, МО – менее рисковый (более надежный) заемщик по сравнению с корпорацией по нескольким причинам:

– МО имеет разнообразные и постоянные законодательно определенные источники бюджетных доходов;

– финансово-бюджетная системы МО «встроена» в бюджетную систему региона и страны, следовательно,

Таблица 1

Классификация нематериальных активов

Классификационный признак	Наименование нематериального актива
Срок полезного использования	Функционирующие Нефункционирующие
Различия в оборачиваемости	Текущие Долгосрочные
Различия в степени отчуждаемости	Отчуждаемые Неотчуждаемые
Степень влияния на финансовые результаты	Способные прямо приносить доход Влияющие на финансовый результат опосредованно
Степень правовой защищенности	Защищаемые охранными документами Незащищаемые охранными документами
Источник приобретения	Собственные Паевые Приобретенные

на законодательно определенных условиях возможна помощь из регионального и федерального бюджета;

– МО по закону обладает значительной собственностью (муниципальное имущество), которая может выступать в качестве залога;

– МО как юридическое лицо может быть ликвидировано лишь в крайнем случае, но и в этом случае обязательно присутствует его правопреемник.

В последние годы отмечен динамичный рост такого сектора фондового рынка как рынок муниципальных облигаций (см. рисунок) [1]. Привлечению дополнительных денежных средств посредством данного инструмента зачастую способствует именно высокий рейтинг муниципального образования и благоприятная репутация МО в инвестиционном и банковском сообществе.

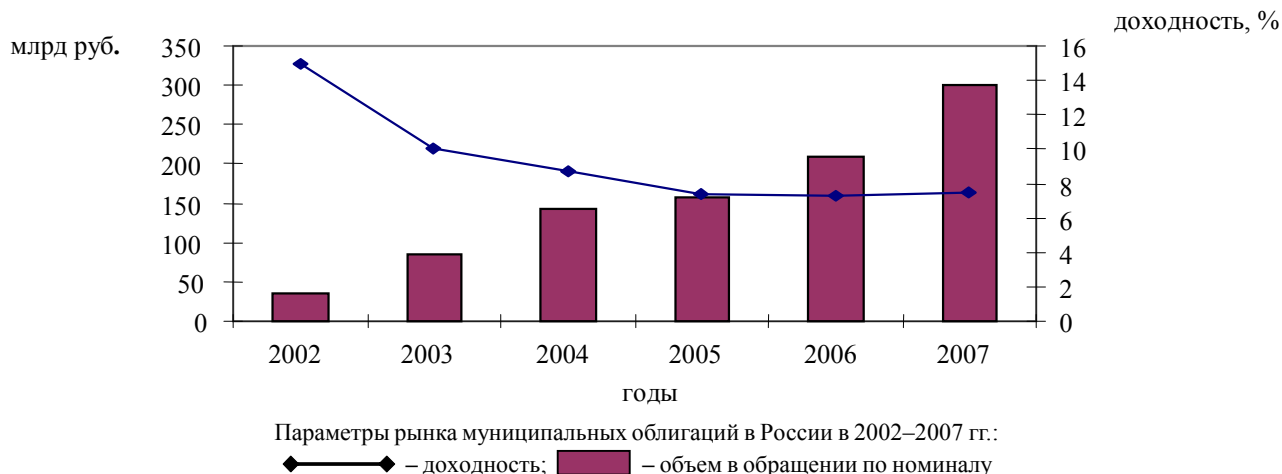
Наличие рейтинга раскрывает объективные финансовые возможности города, повышает репутацию городской власти как готовой для приема инвестиций и открытой для диалога с инвесторами. Достаточно высокий рейтинг повышает возможности города при любой коммерческой или финансовой операции. Независимо от того, используется ли рейтинг для привлечения инвестиций, получения кредитов, выпуска ценных бумаг, сбыта продукции или расширения деятельности, рейтинг позволяет местному органу власти, демонстрируя свою деловую репутацию, заключать сделки на более выгодных для себя условиях.

Согласно классическим методикам рейтинговых оценок, при установлении объективного рейтинга индикативным методом учитываются финансово-экономические и ситуационные параметры устойчивости муниципального образования. К финансово-экономическим параметрам относится устойчивость бюджетной системы, финансово-экономическая ситуация, динамика финансово-экономического развития МО. Ситуационные параметры включают устойчивость муниципальной власти, благоприятный климат для развития предпринимательства, кредитную историю МО. Всесторонний анализ устойчивости муниципального образования позволяет снизить риски потенциальных инвесторов и повысить конкурентоспособность муниципалитета. В то же время рейтинги становятся визитной карточкой местных органов власти и способствуют результативному участию МО в различных конкурсах и тендерах. Практика показывает

высокую зависимость между рейтингом инвестиционной привлекательности муниципалитета и «политическим долголетием» главы местной администрации. Данная взаимосвязь очевидна: чем устойчивее МО, тем больше доверия муниципальной власти, и, одновременно, чем выше рейтинг главы администрации, тем привлекательнее для инвесторов становится территория.

Помимо объективной оценки деятельности муниципального образования, с учетом того, что эконометрические модели часто страдают сложностью обеспечения текущими источниками данных большинства независимых переменных, необходимых для анализа, по нашему мнению, целесообразно использовать и субъективный подход, учитывающий имидж муниципалитета и степень доверия органам муниципальной власти со стороны местного сообщества, представляющий взгляд изнутри на социально-экономические тенденции развития территории, несмотря на то, что в экспертных системах не всегда четко прослеживаются причинные отношения. Качественный подход позволяет оценить специфику каждой конкретной ситуации. В некоторых случаях внимательное исследование различных специфических элементов, определяющих ситуацию, может быть более важным, чем проведение систематической количественной оценки. Большим недостатком этого метода является чрезмерная субъективность оценок. Старые стереотипы общества могут сыграть роковую роль в процессе оценки критериальных групп. Дж. Саймон оценил этот подход как «спорадический, основанный на селективном, неконтролируемом восприятии или идеологических и личностных пристрастиях» [2].

Экспертные оценки являются обычно конечным продуктом многоступенчатого консультационного процесса, который может вовлекать метод Дельфи. Некоторые из этих отчетов могут использовать эконометрические данные, но их основной характеристикой является прогрессивное ранжирование достаточно большого количества муниципальных образований в соответствии с логикой анализа. Метод коллективной экспертной оценки, именуемый методом Дельфи, основан на выявлении согласованной оценки экспертной группы путем их автономного опроса в несколько туров, предусматривающего сообщение экспертам результатов предыдущего тура с целью дополнительного обоснования оценки экспер-



тов в последующем туре. Метод группового взаимодействия экспертов существует в нескольких разновидностях. Все они характеризуются следующими особенностями:

1. Анонимностью: ни один участник группы в процессе работы не знает, каким участникам принадлежат высказываемые мнения.

2. Многоступенчатостью: на одни и те же вопросы эксперты отвечают несколько раз, знакомясь после каждого опроса с его анонимными результатами, с высказанными доводами «за» и «против».

3. Усреднением: результаты работы группы представляются в статистической форме. Например, коллективное мнение о некотором числовом значении представляется в виде двух чисел, задающих интервал, охватывающий половину индивидуальных мнений и оставляющий справа и слева по четверти ответов [3].

По мнению одного из разработчиков метода Дельфи С. Далки, система «Дельфи» вынуждает специалистов оценивать и пересматривать основы своих взглядов на те или иные решения, так как в каждом цикле они знакомятся с решениями и мнениями других специалистов и должны защищать, обосновывать свои мнения или менять свои взгляды [4].

При составлении рейтинга муниципалитетов по уровню социально-экономического и политического развития предполагается включать следующие этапы: выбор переменных (политическая стабильность, степень эконо-

мического роста, уровень социального развития и др.), определение веса каждой переменной, обработка показателей по методу Дельфи с использованием экспертной шкалы, выведение суммарного индекса, теоретически располагающегося в пределах от 0 до 50 (минимальный индекс означает минимальный уровень развития исследуемого МО, и наоборот) [5].

В процессе проработки вышеперечисленных этапов группе экспертов, состоящей из специалистов в области муниципального управления, образования, здравоохранения, жилищно-коммунального хозяйства муниципального образования «Город Майкоп», была представлена система параметров с целью формирования критериальных групп и определения удельного веса каждого параметра в данной группе (численность экспертов, принявших участие в исследовании, следующее: специалистов в области муниципального управления – 7 человек, образования – 6 человек, здравоохранения – 7 человек, жилищно-коммунального хозяйства – 5 человек). Обработка полученных результатов производилась с использованием метода Дельфи. В результате проведенного исследования была сформирована система из пяти критериальных групп, содержащих 18 критериев, позволяющая оценить имидж МО и степень доверия местным органам власти со стороны потребителей муниципальных услуг (табл. 2, 3).

Полный список возможных параметров с разной степенью потенциального влияния может быть гораздо шире

Таблица 2

**Система критериев для оценки имиджа
муниципального образования и степени доверия органам
муниципальной власти по методу Дельфи**

Критерий	Параметр	Удельный вес в параметре, %
Критериальная группа 1		
Экономические перспективы развития муниципального образования		
Критерий 1	Уровень экономического развития	40
Критерий 2	Уровень жизни	30
Критерий 3	Лояльность власти к бизнесу	30
Критериальная группа 2		
Политическая ситуация		
Критерий 4	Однородность социальной структуры общества	30
Критерий 5	Политическая стабильность	50
Критерий 6	Политическая активность общества	20
Критериальная группа 3		
Деловая среда		
Критерий 7	Условия труда	20
Критерий 8	Уровень доходов	30
Критерий 9	Инвестиционная активность	30
Критерий 10	Обеспеченность рабочими местами	20
Критериальная группа 4		
Социальная ситуация		
Критерий 11	Социальная поддержка (социальные программы)	25
Критерий 12	Качество медицинских услуг	25
Критерий 13	Качество услуг сферы образования	25
Критерий 14	Возможность перепрофилирования специалистов	10
Критерий 15	Культурно-досуговая сфера	15
Критериальная группа 5		
Жилищно-коммунальная сфера		
Критерий 16	Качество услуг ЖКХ	30
Критерий 17	Урбанизированная инфраструктура	20
Критерий 18	Возможность приобретения жилья	50

и включать несколько десятков политических, экономических и социально-культурных факторов. Выбор факторов и определение их относительного веса остается основной проблемой количественного метода.

Дальнейшая оценка производится с использованием экспертного опроса для определения качественных параметров. Социально-экономическая и политическая ситуация в муниципалитете ранжируется по шкале от 1 до 10 баллов. Показатель от 1 до 3 свидетельствует о низком уровне развития МО; от 4 до 6 – о приемлемом или умеренном; от 7 до 9 – о высоком; 10 – о сверхвысоком уровне.

Показатель формируется на базе экспертных оценок.

В результате исследования были определены качественные параметры имиджа и степени доверия органам муниципальной власти муниципальных образований «Город Майкоп» и «Город Краснодар» по методу Дельфи. Полученные в результате анкетирования данные были сгруппированы в таблицу (табл. 4). Анализ данных показал, что на основании полученного суммарного индекса экспертной оценки (см. табл. 3) можно оценить степень доверия муниципальным властям в г. Краснодаре как умеренно высокое (интервал от 27 до 40 баллов), а в

Таблица 3

Суммарный индекс экспертной оценки

Количество баллов	Кластер рейтинга	Результат оценки
Свыше 40	1	Максимальное доверие
От 27 до 40	2	Умеренно высокое доверие
От 13 до 26	3	Умеренно низкое доверие
Менее 13	4	Минимальное доверие

Таблица 4

Оценка имиджа и степени доверия органам муниципальной власти муниципальных образований «Город Майкоп» и «Город Краснодар» по методу Дельфи

Критерий	Удельный вес в параметре, %	Оценка параметра			
		МО «Город Майкоп»		МО «Город Краснодар»	
		Средний балл	Балл с учетом веса	Средний балл	Балл с учетом веса
Первая критериальная группа					
Экономические перспективы развития муниципального образования					
Критерий 1	40	3	1,2	8	3,2
Критерий 2	30	4	1,2	8	2,4
Критерий 3	30	4	1,2	9	2,7
Итого по группе 1			3,6		8,3
Вторая критериальная группа					
Политическая ситуация					
Критерий 4	30	3	0,9	6	1,8
Критерий 5	50	5	2,5	9	4,5
Критерий 6	20	4	0,8	7	1,4
Итого по группе 2			4,2		7,7
Третья критериальная группа					
Деловая среда					
Критерий 7	20	4	0,8	7	1,4
Критерий 8	30	4	1,2	7	2,1
Критерий 9	30	3	0,9	8	2,4
Критерий 10	20	5	1,0	7	1,4
Итого по группе 3			3,9		7,3
Четвертая критериальная группа					
Социальная ситуация					
Критерий 11	25	5	1,25	7	1,75
Критерий 12	25	3	0,75	8	2,0
Критерий 13	25	6	1,5	8	2,0
Критерий 14	10	6	0,6	7	0,7
Критерий 15	15	3	0,45	8	1,2
Итого по группе 4			4,55		7,65
Пятая критериальная группа					
Состояние жилищно-коммунальной сферы					
Критерий 16	30	6	1,8	7	2,1
Критерий 17	20	6	1,2	7	1,4
Критерий 18	50	5	2,5	7	3,5
Итого по группе 5			5,5		7
Всего			21,75		37,95

Примечание: Оценка проводилась по результатам анкетирования, проведенного на территории исследуемых муниципальных образований. В ходе анкетирования было опрошено 4 782 респондента в г. Краснодаре и 1 835 респондентов в г. Майкопе.

г. Майкопе как умеренно низкое доверие (интервал от 13 до 26 баллов). Следовательно, органы власти МО «Город Краснодар» проводят сбалансированную социально-экономическую политику, что позитивно влияет на имидж муниципалитета как со стороны населения муниципального образования, так и со стороны потенциальных инвесторов.

В подтверждение данного вывода рассмотрим зависимость между рейтингом муниципалитета и объемом эмиссии муниципальных ценных бумаг на основе анализа рынка муниципальных облигаций (табл. 5) [6].

В свою очередь, анализ рынка муниципальных облигаций выявил прямую зависимость между рейтингом муниципалитета и объемом эмиссии муниципальных ценных бумаг (табл. 5). МО с максимальным рейтингом имеют возможность привлекать значительные инвестиционные ресурсы под минимальный уровень доходности. Также наличие достаточно высокого рейтинга может быть использовано городской властью в следующих направлениях деятельности:

- распространение информации о городе, создание более благоприятного имиджа и репутации;
- расширение круга потенциальных инвесторов за счет появления интереса к городу со стороны крупных корпораций, финансовых структур, государств и международных организаций;
- облегчение ведения переговоров с кредиторами с целью изменения условий предоставления кредитных линий;
- облегчение финансовых условий реализации долгосрочных проектов;
- повышение эффективности управления затратами, связанными с привлечением заемных средств;
- повышение шансов кандидатуры города в рамках какого-либо конкурса, например, на право организации

крупномасштабного экономического, культурного или спортивного мероприятия.

Но, несмотря на всю привлекательность рейтингового подхода, для формирования общего восприятия ситуации необходимо использовать комбинированный подход, который позволяет соединить субъективное восприятие внутренней среды муниципального образования с количественным анализом объективных данных. Данный метод позволяет оценить не только лояльность населения муниципалитета к властным структурам, но и может служить составляющей комплексного анализа для оценки уровня инвестиционного риска.

Перспективы социально-экономического развития муниципального образования во многом обусловлены уровнем развития инвестиционной деятельности и, в свою очередь, качеством управления нематериальными активами муниципалитета, эффективное управление которыми должно стать неотъемлемым элементом экономической и финансовой политики.

Библиографические ссылки

1. Министерство финансов РФ : офиц. сайт. URL: <http://www.minfin.ru>.
2. Косенко С. И. Методы поиска новых технических решений. М. : ВА им. Ф. Э. Дзержинского, 1996.
3. Уотерман О. Руководство по экспертным системам. М. : Мир, 1989.
4. Одрин В. И. Методы морфологического анализа технических систем. М. : Наука, 1981.
5. Дельфийский метод [Электронный ресурс]. URL: http://www.mirslovarei.com/content_pol/DELFIJSKIJ-METOD-METOD-DELFI-1579.html.
6. Russian Informer – Финансовая корпорация «Урал-сиб» [Электронный ресурс]: URL: <http://www.uralsibcap.ru>.

Таблица 5

Влияние рейтинга муниципального образования на объем эмиссии и доходность ценных бумаг

Муниципальное образование – эмитент ценных бумаг	Рейтинг, F/M	Объем выпуска, млн руб.	Доходность, %
г. Москва МГор 45-об	BBB/Baa1	15 000	7,39
г. Самара	Ba1/BB	4 500	7,95
г. Нижний Новгород	BB/Baa2	2 500	7,93
г. Краснодар	BB/BB-	1 500	8,1
г. Уфа	B+	500	9,07
г. Калуга	B–	1 000	10,16

L. V. Prigoda

THE IMAGE OF A MUNICIPALITY AS A CONSTITUENT OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF THE TERRITORY

In the article the role of intangible assets in the forming of investments-attractive image of a municipality by the example of the municipality «Mykop» of Republic Adygeya and the municipality «Krasnodar» is investigated, basic tendencies of the market of municipal securities are revealed, the method of expert estimation of a municipality image and degree of trust in the municipal authorities by Delphi method is offered.

Keywords: municipality, the image of municipality, investment attractiveness.

© Пригода Л. В., 2010

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕГИОНАЛЬНОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ*

Рассматриваются вопросы автоматизации процессов мониторинга показателей социально-экономического развития муниципальных образований, используемых в задачах прогноза и планирования регионального развития на примере Красноярского края.

Ключевые слова: мониторинг, социально-экономическое развитие, региональное и муниципальное управление, информационные системы.

Совершенствование системы местного самоуправления приводит к усилению роли муниципальных образований (МО) в решении вопросов собственного социально-экономического развития (СЭР). Находясь под контролем государственных органов власти, муниципалитеты имеют конституционно и законодательно закрепленные полномочия принимать стратегические решения и формировать собственную политику в вопросах местного значения, в том числе в вопросах, касающихся использования и управления ресурсами муниципального жизнеобеспечения и развития.

В связи с необходимостью обеспечить принципиальное соответствие интересов муниципалитетов региональным интересам, актуальным является согласование задач комплексного развития МО с планами регионального развития. Один из механизмов согласования – оценка результативности деятельности субъектов экономики и хозяйства территории, которая напрямую зависит от того, насколько эффективна или неэффективна деятельность исполнительных органов государственной власти и местного самоуправления. Построение системы таких оценок в системе государственной власти и местного самоуправления служит целям практической реализации соответствующих нормативно-правовых актов федерального и краевого уровней [1–3].

Прогнозно-аналитическая информация о состоянии объектов, ресурсов и процессов управления – необходимая основа планирования деятельности любого субъекта управления. В иерархических многоуровневых системах регионального стратегического и среднесрочного управления одинаково важны прогнозы социально-экономического развития, опережающие и фактические оценки возможных последствий принимаемых решений. В Красноярском крае для оптимизации системы регионального планирования и управления бюджетным процессом в 2006 г. были начаты работы по созданию автоматизированной информационной системы мониторинга муниципальных образований (АИС ММО), предназначенной для автоматизации сбора показателей социально-экономического развития муниципальных образований и индикаторов оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и

муниципальных районов. В статье рассмотрены некоторые теоретические и практические вопросы ее разработки и реализации.

Общая идея оценки качества управления состоит в формировании иерархической системы индикаторов. В качестве первичных данных взята система индикаторов и критериев оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления, разработанная департаментом планирования и экономического развития края совместно с Институтом управления и бизнес-технологий Красноярского государственного технического университета [4].

Методика предусматривает расчет системы индикаторов, характеризующих результаты управления территорией на основе системы показателей СЭР. Система индикаторов многоуровневая. Индикатор более высокого уровня вычисляется как линейная комбинация индикаторов предыдущего уровня. Индикаторы самого нижнего уровня либо являются показателями СЭР, либо вычисляются как результат арифметической операции над двумя или более показателями СЭР.

Система индикаторов базируется на модели, представленной на рис. 1.

Система оценки управления включает:

- единичные показатели/индикаторы (Π_i^t – индикаторы первого уровня);
- частные индикаторы (ЧИ_n^t – индикаторы второго уровня);
- интегральные индикаторы (ИИ_n^t – индикаторы третьего уровня);
- сводные индикаторы.

Единичные показатели/индикаторы Π_i^t характеризуют уровень использования отдельных ресурсных элементов потенциалов территорий (жилье, торговля и услуги, экология, преступность, образование, наука, здравоохранение, спорт, культура, занятость, доходы/расходы, гражданская активность). Значения Π_i^t берутся из паспорта МО, составляемого территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, паспортов МО. Для дальнейших расчетов значения Π_i^t нормируют. Далее для каждой группы единичных индикаторов определяются границы нормированно-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 09-07-98002-р_сибирь_a).

го показателя. Внутри каждой группы индикаторы нормируются по следующей формуле:

$$I'_i = (P'_i - P'_{i_{\min}}) / (P'_{i_{\max}} - P'_{i_{\min}}).$$

Следующим шагом осуществляется перевод из индикатора, нормированного в группе, в индикатор, нормированный по территориям. При этом для дальнейших расчетов крайне необходимо присвоить полученным значениям отнормированных индикаторов I'_i знак «+» или «-». Знак присваивается путем оценки влияния ресурсного элемента потенциала территории на ее дальнейшее развитие (например, если в МО будет повышаться такой показатель, как преступность, то ни к чему хорошему это не приведет, значит необходимо поставить для подобной группы показателей знак «-»).

Частные индикаторы $ЧИ'_n$ характеризуют применение отдельных элементов потенциалов территории. Критериальные значения некоторых показателей сопровождаются характеристиками, отражающими сущность их количественных значений. Частные индикаторы основываются на смысловом группировании индикаторов/показателей первого уровня P'_p , а их использование находится прямо или косвенно в компетенции МО. Путем группировки единичных индикаторов потенциала качества жизни (ИПКЖ), перечисленных выше, получим следующие частные ИПКЖ: индикатор качества среды жизнедеятельности (жилье, торговля и услуги, экология, преступность); индикатор качества потенциала населения (образование, наука, здравоохранение, спорт, культура); индикатор качества деятельности (занятость, доходы/расходы, гражданская активность).

Динамика частных индикаторов $ЧИ'_n$ характеризует скорость движения территории к эффективному управлению. Оценка изменения эффективности управления производится по отношению к базовому и предшествующему периодам. В настоящем исследовании за базовый период взят 2004 г., и уже относительно него ведется расчет показателей 2005 и 2006 гг.

Значимость каждого из частных индикаторов $ЧИ'_n$ определялась с помощью средних экспертных оценок. Предварительные результаты опроса формировали значения весовых коэффициентов в пределах отдельных потенциалов территории. Весовые коэффициенты значимости частных индикаторов $ЧИ'_n$ использовались при определении интегральных индикаторов $ИИ'_n$. Интегральные индикаторы $ИИ'_n$ характеризуют использование конкретного потенциала территории и определяются совокупностью частных индикаторов. Интегральные индикаторы образуют региональный уровень концентрации ре-

сурсов и используются для принятия управленческих решений на этом уровне. Интегральные индикаторы $ИИ'_n$ образуются совокупностью входящих в них частных индикаторов $ЧИ'_n$.

Как видно из описания методики, для обеспечения объективной оценки качества управления необходимо подобрать весовые коэффициенты для каждого из частных индикаторов с учетом территориальной специфики и особенностей местной экономики. В данной работе на примере расчета интегрального индикатора потенциала качества жизни рассмотрен способ получения весовых коэффициентов для создания модели информационно-аналитической системы СЭР МО Красноярского края. Весовые коэффициенты разрабатывались на основе данных статистического сборника территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю (сборники № 1–14) [5], паспортов МО территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, паспортов МО, представляемых в Министерство экономики и регионального развития Красноярского края, цифровой карты Красноярского края.

Для таких регионов, как Красноярский край, процесс разработки и создания информационно-аналитической системы мониторинга СЭР МО на основе подобных индикаторов с использованием весовых коэффициентов связан с определенными трудностями, обусловленными разномасштабностью МО. Это и краевой центр с населением около 1 млн чел., и города с населением 50–60 тыс. чел., и сельские районы, центрами которых являются малые города или поселки городского типа. Поскольку сложно подобрать весовые коэффициенты, которые одинаково хорошо будут работать по всему краю, необходимо классифицировать муниципалитеты по определенному признаку, например, по физико-географическому расположению или по преобладающему характеру хозяйственно-экономической деятельности, и строить наборы весовых коэффициентов для каждого класса. В своей работе мы выбрали группу районов, в которых преобладает сельскохозяйственное производство (по данным на 2005 г.). В данную группу районов входят Ачинский, Балахтинский, Боготольский, Большеулуйский, Емельяновский, Ермаковский, Идринский, Каратузский, Курагинский, Назаровский, Рыбинский, Саянский, Сухобузимский, Ужурский, Уярский, Шарыповский районы.

Интегральный показатель качества жизни определяется по следующей формуле:

$$ИИ'_{\text{КЖ}} = ИКТ_1 \cdot Кзм_{\text{КТ}_1} + ИКТ_2 \cdot Кзм_{\text{КТ}_2} + ИКТ_3 \cdot Кзм_{\text{КТ}_3}.$$

Основные показатели/индикаторы			
Природно-ресурсный потенциал (ПРП)	Экономический потенциал (ЭП)	Финансово-инвестиционный потенциал (ФИП)	Потенциал качества жизни населения (ПКЖ)
Управленческий потенциал			
Кадровый потенциал	Уровень исполнительной дисциплины		Организационный потенциал
Дополнительные индикаторы			
Индикаторы качества управления			

Рис. 1. Модель системы индикаторов

По интегральным индикаторам $ИИ'_n$ производится оценка эффективности управления в МО, оценка эффективности управления по скорости изменения потенциалов территории и т. д.

В ходе исследования были получены значения интегральных ($ИИ'_n$) и частных ($ЧИ'_n$) индикаторов, характеризующих качественные и количественные характеристики процесса управления в МО Красноярского края.

Полученные в ходе исследования коэффициенты позволяют конкретно по каждому району проследить, в какой области в наибольшей степени ухудшилось, а в какой, напротив, улучшилось состояние показателей, что, безусловно, позволяет говорить о качестве управления в МО, а оценка качества управления является дополняющей характеристикой эффективности управления в МО, на основе которой можно принимать решения регионального масштаба по синхронизации экономических процессов и формированию их устойчивой динамики. Проверка этих характеристик будет осуществляться по данным Территориального отдела статистики за 2007 г.

Для наглядности полученных результатов следует использовать графическое их представление, так как система планирования развития и мониторинга МО должна оперировать объектами, имеющими пространственную привязку. Подобным требованиям сегодня отвечают географические информационные системы (ГИС), которые позволяют вывести поддержку решения многих задач в управлении МО на качественно новый уровень.

ГИС позволяют:

- производить ввод атрибутивных данных (например, полученных в процессе полевых исследований);
- ввод пространственных данных;
- создавать различные базы данных;
- позволяют выполнять различные запросы, т. е. обладают неограниченными возможностями географического анализа по принципу «а что, если...»;
- создавать и редактировать карты;
- создавать тематические карты;
- выводить карты и отчеты на принтер/плоттер или в графический файл;
- создавать трехмерные модели местности.

В реализованной системе используется специализированный картографический модуль, выполняющий основные функции прикладной ГИС [6].

Система оценки эффективности может применяться для самодиагностики территории, ее позиционирования в муниципальном сообществе и для выработки соответствующих решений.

Предложенный подход с участием авторов был реализован в автоматизированной системе мониторинга муниципальных образований Министерства экономики и регионального развития Красноярского края (рис. 2), предназначенной:

- для сбора и обработки информации, предоставляемой органами местного самоуправления, о социально-экономическом развитии муниципальных образований Красноярского края в единой унифицированной системе показателей (фактические и прогнозируемые показатели) [7];

- организации процесса формирования прогноза развития муниципальных образований в рамках бюджетного процесса на территории Красноярского края [5];

- ведения всех видов мониторинга, осуществляемых в департаменте планирования и экономического развития в отношении МО, как по регламентированным формам отчетности, так и произвольным формам в рамках показателей унифицированной системы;

- осуществления обратной связи с территориями, например, для обеспечения органов местного самоуправления информацией, находящейся в ведении ДПЭР (статистической, налоговой, ведомственной и т. д.);

- формирования во всех муниципальных образованиях баз данных в единой унифицированной системе показателей, что позволяет посредством электронного запроса средствами АИС ММО осуществлять обмен этой информацией между МО для проведения сравнительного анализа.

Программно-технические средства АИС ММО разделены на два уровня – краевой уровень и уровень муниципального образования.

В связи с наличием двух уровней в программном комплексе предусмотрено два программных блока (рис. 3).

Первый блок предназначен для работы в муниципальных образованиях, в частности для заполнения информации и передачи ее в администрацию края. Он выполнен с учетом минимальных требований к аппаратному обеспечению и квалификации обслуживающего персонала, а также с учетом низкой пропускной способности существующих каналов связи.

Второй блок предназначен для принятия, обработки, хранения и анализа поступающей с территорий информации. Он ориентирован на аналитическую работу сотрудников органов государственной власти во внутренней сети с информацией, расположенной на высокопроизводительном оборудовании.

Информационное взаимодействие между уровнями может осуществляться в двух режимах – ручном и автоматическом.

Ручной режим предусматривает передачу информации между уровнями на магнитных и оптических носителях; автоматический режим работы предусматривает автоматизированный информационный обмен информацией по каналам Интернета или Интранета (TCP/IP) средствами протоколов электронной почты (SMTP и POP3).

Информация о социально-экономическом развитии муниципального образования накапливается в локальной базе данных клиентского рабочего места АИС ММО в муниципальном образовании, и в соответствии с регламентом или требованиями по предоставлению информации формируется отчет, который сжимается, шифруется и отправляется на краевой уровень.

На краевом уровне осуществляется прием информации и загрузка ее в консолидированную базу данных показателей социально-экономического развития муниципальных образований края. Оба блока программного комплекса АИС ММО предусматривают работу в сетевом режиме, что облегчает процесс заполнения базы различными департаментами, управлениями, агентствами и службами муниципалитетов. Для повышения ответ-

ственности и исключения стороннего вмешательства в базу в муниципальных образованиях предусмотрена организация регламентированного доступа к базе данных, созданной с использованием авторских технологий [8; 9]. Эти инструментальные средства также обеспечивают возможность создания сервисов пообъектного и пространственного анализа атрибутивных и картографических данных, используемых в территориально ориентированных задачах регионального управления.

Кроме сетевой версии в пределах органов власти одной администрации в программе предусмотрена возможность распределенной работы и информационного взаимодействия посредством электронной почты между административными центрами в рамках одного района. Это позволяет оперативно заполнять пообъектную базу с учетом ОКТМО, ОКАТО, ОКВЭД, ОКП, ОКОПФ (орга-

низационно-правовых форм), ОКФС (форм собственности), ОКПДТР (профессий, должностей и трудовых рядов). Соответствующие сервисы с использованием системы показателей вышеприведенной методики обеспечивают возможность совместного анализа и состояния объекта управления и оценки результатов деятельности субъектов управления.

Пополнение базы данных информацией конкретного поселения в районном центре происходит посредством импорта из полученного по электронной почте файла (рис. 4).

Локальные базы данных на местах разработаны на основе открытой системы управления базами данных Interbase/Firebird v.1.5, которая поставляется как часть программного обеспечения клиентского рабочего места и не требует отдельной установки. Консолидирован-



Рис. 2. Информационная структура АИС ММО

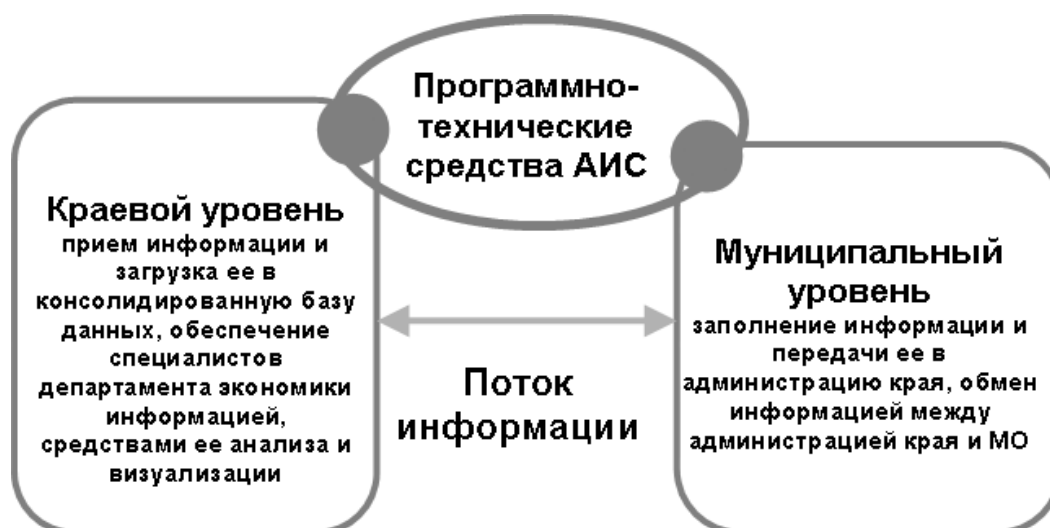


Рис. 3. Состав программно-технических средств

ная база данных краевого уровня выполнена на основе СУБД Microsoft SQL Server 2000.

АИС ММО проста в установке и эксплуатации. Типовое программное обеспечение ее муниципальной составляющей было тиражировано по городам и районам края, установлено и эксплуатируется муниципальными службами, не являющимися специалистами в области информационно-коммуникационных технологий. Консалтинговая и техническая поддержка осуществляется централизованно с использованием интернет-сервисов специалистами Министерства экономики и регионального развития края. Централизованная организация АИС ММО одновременно решает задачи сбора муниципальных данных, необходимых для подготовки прогнозно-плановых документов бюджета края, и доступа специалистов органов местного самоуправления к краевым источникам информации, используемой в задачах социально-экономического планирования муниципального развития. Централизация данных позволяет избежать ошибок и издержек дублирования, повышает оперативность и качество решения задач прогнозирования и оценки деятельности органов местного самоуправления по реализации программ стратегического развития территорий, а также приоритетных инвестиционных и национальных проектов и программ, реализуемых на территории края. Наличие встроенных средств визуализации данных (построение диаграмм, тематических карт) позволяет наглядно представить и визуально оценить ситуацию в регионе.

Типовое программно-технологическое обеспечение АИС ММО может быть использовано и используется органами местного самоуправления для ведения собственной базы данных унифицированных показателей социально-экономического развития. Прозрачность и доступность централизованных на краевом уровне данных повышает качество муниципального планирования, поскольку обеспечивает доступ к информации о соседних муниципалитетах, позволяет проводить сравнительный анализ их и собственного социально-экономического развития.

Архитектура и программно-технологические решения АИС ММО позволяют расширять область применения системы посредством наращивания дополнительных сервисов. В настоящее время ведутся работы по развитию системы для нужд отраслевого планирования краевого уровня и нужд органов местного самоуправления в части средств хранения и совместного анализа статистической, налоговой и ведомственной информации, отнесенной к объектам регионального и муниципального управления. В перспективе предполагается развитие муниципального сегмента АИС ММО в части пообъектного учета и сбора данных с уровня сельских поселений на уровень муниципальных районов.

Средства информационно-аналитической поддержки задач стратегического управления в рамках АИС ММО развиваются по двум направлениям: 1) совершенствование систем сбора и анализа показателей стратегического управления региональным развитием; 2) создание с использованием открытых технологий и программно-технологических решений [10] средств автоматизации привязки этих показателей к объектам карт-схем территориального планирования и разработка методов и средств анализа пространственных аспектов объектов, ресурсов и процессов стратегического управления.

Библиографические ссылки

1. Российская Федерация. Законы. О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации : федер. закон № 115-ФЗ от 20 июля 1995 г. : [принят Гос. Думой 23 июня 1995 г.] // Рос. газ. 1995. 26 июля.
2. Российская Федерация. Законы. Об информации, информатизации и защите информации : федер. закон № 24-ФЗ от 20.02.1995 г. : [принят Гос. Думой 25 янв. 1995 г.] // Собрание законодательства РФ. 1995. № 8.
3. О порядке взаимодействия органов исполнительной власти края и органов местного самоуправления в процессе планирования социально-экономического раз-



Рис. 4. Организационная структура автоматизированных рабочих мест АИС ММО

вития Красноярского края : Постановление Совета Администрации Красноярского края от 13.04.2007 г. № 135-п [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.krskstate.ru](http://www.krskstate.ru).

4. Официальный портал Красноярского края [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.krskstate.ru](http://www.krskstate.ru).

5. Разработка методики оценки (критериев, методов, процедур) эффективности управления в муниципальных образованиях Красноярского края : отчет о НИР / Ин-т управления и бизнес-технологий Краснояр. гос. техн. ун-та. Красноярск, 2006.

6. Модуль отображения картографической информации GKernel : свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 5291 / С. А. Робозов, С. А. Артемьев. Выдано 28.10.2005 г. Отраслевым фондом алгоритмов и программ.

7. Об утверждении системы показателей социально-экономического развития муниципальных образований

края : Постановление Совета Администрации Красноярского края от 01.06.2007 г. № 211-п [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.krskstate.ru](http://www.krskstate.ru).

8. Объектная надстройка над СУБД ObjectStorage : свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 7154 / С. А. Робозов, А. В. Токарев. Выдано 13.11.2006 г. Отраслевым фондом алгоритмов и программ.

9. Модуль анализа данных DataProcessor : свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 7155 / С. А. Робозов, К. В. Мальцев. Выдано 13.11.2006 г. Отраслевым фондом алгоритмов и программ.

10. Робозов, С. А., Мальцев, К. В. Инструментальные средства анализа данных в информационно-графической системе «Терра» // Проблемы информатизации региона : материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. Красноярск : ИПЦ КГТУ. 2005. Т. 2. С. 99–101.

S. A. Robozov, M. G. Erunova, K. V. Maltsev

THE ASSESSMENT OF REGIONAL AND MUNICIPAL MANAGEMENT QUALITY IN THE AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF MUNICIPALITIES MONITORING

The problems of monitoring processes automation of municipalities socio-economic development indicators used in the tasks of regional development forecast and planning by the example of Krasnoyarsk region are considered.

Keywords: monitoring, socio-economic development, regional and municipal management, information systems.

© Робозов С. А., Ерунова М. Г., Мальцев К. В., 2010

УДК 339.138

О. Н. Котова, С. П. Остапенко

МАРКЕТИНГОВЫЕ СТРАТЕГИИ СЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА

Рассмотрен вопрос целесообразности принятия российскими предприятиями маркетинговой стратегии развития в условиях современного экономического кризиса, обобщены точки зрения различных авторов по данному вопросу, изучены основные преимущества следования определенной стратегии, а также аргументы сторонников спонтанного принятия решений. Предложена авторская модель концентрации усилий сервисных компаний на существующих видах деятельности как наиболее приемлемая в сложившихся условиях, освещены ключевые направления маркетинговой политики, способные поддержать докризисный уровень функционирования предприятия, отладить рыночные механизмы саморегуляции. Объектом исследования выступают маркетинговые процессы, происходящие на предприятии при выборе стратегии развития в условиях современного экономического кризиса.

Ключевые слова: экономический кризис, маркетинговая стратегия, стратегия концентрации, клиентоориентированность, стратегическая устойчивость.

Маркетинговая стратегия предприятия заключается в разработанной на перспективу системе мер, которая дает ориентиры и показывает возможный набор инструментария для комплексных маркетинговых действий, ориентированных на достижение поставленных целей. Однако если предприятие работает в условиях современного экономического кризиса, целесообразно ли в ситуации неопределенности следовать намеченной маркетинговой

стратегии или предпочтительнее осуществлять гибкое оперативное реагирование на любые рыночные изменения? Исследователи придерживаются различных точек зрения по данному вопросу.

Нужна ли стратегия маркетинга в условиях кризиса? Руководители многих компаний считают, что в условиях экономического спада заниматься разработкой стратегии маркетинга, как и созданием стратегий вообще, — это

пустая трата времени. Другими словами, необходимо действовать.

Обычно предприятия начинают борьбу с кризисом с сокращения затрат, снижения цен и уменьшения интенсивности продвижения, при этом как минимум ценообразование и продвижение с точки зрения теории экономической науки относятся к комплексу маркетинга. Эффективность использования этих элементов можно повысить, если прежде чем осуществлять их корректировку, определить, как должна измениться стратегия маркетинга в новых условиях.

Косых В. Н. считает, что для многих предприятий сферы услуг актуальность разработки стратегии маркетинга, соответствующей сложившимся на рынке условиям, в период экономического спада повышается, поскольку вероятно, что по итогам проведения совещаний, на которых обсуждается возникшая ситуация, корректировка стратегии маркетинга приведет к преобразованиям не только продвижения и сбыта, но и самого продукта [1, с. 36]. Услуги обычно можно изменять более оперативно, чем материальные товары, и это требует меньших затрат.

Как показывает практика, когда разработка планов осуществляется по итогам определения целевых сегментов и позиционирования, часто удается значительно повысить эффективность маркетинга. Стратегическое планирование маркетинга позволяет повысить результативность деятельности компании в долгосрочной перспективе.

Иногда при ограниченных ресурсах, особенно в условиях кризиса, для разработки стратегии поведения предприятия на рынке не требуется существование отдела маркетинга. Однако при этом соответствующими компетенциями должны обладать практически все сотрудники компании, особенно руководители подразделений. В этом случае они, имея предварительно собранную информацию о ситуации на рынке, на общих совещаниях, а также во время «мозговых штурмов» смогут обсудить следующие вопросы:

- кто и что предлагает на рынке;
- кто потребляет предложенное;
- какие потребители являются привлекательными для компании;
- что можно сделать для стимулирования покупки потребителями;
- что нужно сделать, чтобы продукт купили у нас, а не у конкурентов;
- что необходимо учесть при разработке планов деятельности подразделений предприятия;
- какие коррективы необходимо вносить в соответствии с изменениями ситуации на рынке.

А. Пасура, Л. Райэл и др. отмечают, что наличие у сервисного предприятия рынка B2B обоснованной маркетинговой стратегии позволит ему уменьшить степень неопределенности и риска, усиленные сложившейся кризисной ситуацией; обеспечить концентрацию ресурсов на выбранных приоритетных направлениях; координировать решения и действия в области маркетинга и менеджмента; разработать маркетинговые программы, ориентированные на достижение поставленных целей; информировать сотрудников о целях маркетинговой деятельности и приоритетах в распределении ресурсов, что будет

способствовать сплочению коллектива в процессе движения в заданном направлении; мотивировать членов трудового коллектива посредством соединения возможностей достижения ими индивидуальных личностных целей с эффективностью маркетинговой деятельности и системой управления; создать необходимые предпосылки для оценки и контроля результатов маркетинговой деятельности [2, с. 76].

И. И. Козуля, опираясь на стратегии М. Портера, указывает, что при спаде в отрасли для получения максимальной отдачи от вложенных инвестиций компании вынуждены отказываться от стратегий, которых придерживались ранее для достижения успеха в условиях растущего рынка [3, с. 63]. В то же время большинство игроков считает, что наиболее приемлемым решением в сегодняшней ситуации является следование пассивной стратегии «сбора урожая». Доводы менеджеров, которые исходят из стратегических постулатов бизнеса (матриц BCG, GE, Ансоффа и др.), вполне можно понять: не инвестировать в рынок с малым или отрицательным ростом, а уменьшать свою долю на таком рынке или вообще уходить с него. Безусловно, данная стратегия имеет право на существование, однако это далеко не единственный выход для компании в кризисной ситуации. Основными вопросами, напрямую связанными с эффективной работой компании в условиях кризиса и выбором той или иной стратегии, являются следующие:

- можно ли извлечь прибыль в период спада;
- какова высота «барьеров выхода» по сравнению с основными конкурентами, и какова вероятность их выхода из бизнеса;
- приспособлена ли компания к работе в условиях неменяющейся доли рынка конкурентов.

Согласно известному труду М. Портера, для рынков, переживающих кризис, существует четыре типа стратегий: «сбор урожая», ликвидация бизнеса, захват и удержание лидерства и освоение определенных «ниш». Останемся на них подробнее.

Захват и удержание лидерства. Основная суть стратегии заключается в том, что достигнув лидерства, компания становится более прибыльной, так как она сосредоточивается на максимальном контроле процесса спада и старается избежать крупномасштабных ценовых войн, деструктивного демпинга. К наиболее распространенным методикам по захвату лидерства относятся следующие:

- 1) меры, направленные на быстрый выход большинства конкурирующих компаний из отрасли за счет агрессивного поведения по отношению к ним в области ценообразования, ассортиментной политики, продаж, стимулирования сбыта и т. д.;
- 2) искусственное снижение «барьеров выхода» конкурентов из отрасли, в том числе и приобретение бизнеса самих конкурентов по завышенным ценам;
- 3) информационная война, распространение ложной информации, в которой преувеличены трудности кризиса, создание образа непривлекательной отрасли;
- 4) искусственное завышение потенциала отрасли для того, чтобы заставить конкурентов инвестировать в отрасль, находящуюся в состоянии спада, увеличивая тем

самым кредитный рычаг и делая их бизнес нерентабельным.

Определение «ниши» и ее захват. Как уже упоминалось, на различных рынках в период спада сохраняются сегменты с высоким спросом, поэтому цель данной стратегии заключается в определении того сегмента рынка, в котором спрос достаточно стабилен, кризис развивается медленно, а значит, сохраняется возможность получения высокой прибыли.

Сбор урожая. Существенное отличие данной стратегии от вышеперечисленных заключается в том, что прекращаются или значительно ограничиваются вложения капитала в бизнес. При этом менеджмент компании старается получить максимально возможную финансовую отдачу.

Быстрое изъятие капиталовложений (немедленная ликвидация бизнеса). Эта стратегия строится на том, что компания быстро распознает сигналы надвигающегося кризиса, оперативно продает бизнес потенциальным покупателям. Безусловно, чем раньше компания выставлена на продажу, тем больше будет покупателей.

Ряд исследователей указывают, что в условиях кризиса многим организациям больше приходится думать не о стратегиях развития бизнеса, а о сужении и, возможно, ликвидации отдельных направлений деятельности. Эти стратегии могут предполагать сокращение продуктовой номенклатуры, сокращение продаж традиционных продуктов, полное сворачивание бизнеса. Выбор таких стратегий требует не только хорошего знания рынка, но и еще в большей степени перспектив его развития.

Сворачивание бизнеса – довольно непростая стратегия. На практике ее реализация также требует продуманных решений. Сворачивание бизнеса не должно нарушить деловых связей с партнерами, не должно нанести удар по престижу организации, должно сопровождаться максимально бесконфликтным решением проблемы трудоустройства увольняемого персонала, не должно повлиять на психологический климат в среде персонала и понизить престиж руководства организации.

В то же время следует помнить, что кризис – это временное явление. Нельзя подрывать возможности традиционных направлений бизнеса, которые вновь могут оказаться востребованными. Одним из способов преодоления кризисных явлений для многих предприятий может стать освоение каких-то временных новых направлений деятельности, возможно даже неprestижных и низкоприбыльных.

По мнению профессора Е. П. Голубкова, кризисные явления значительно сократили количество свободных денежных средств и ограничили возможности предприятия по обеспечению требуемого уровня прибыльности и вложений средств в маркетинг [4, с. 5]. Это, в частности, привело к стремлению руководства различных организаций в целях укрепления своих позиций в конкурентной борьбе снижать затраты на маркетинг. Маркетинг в условиях кризиса зачастую оказывается наиболее уязвимым в плане финансирования, особенно когда не удается на языке конкретных цифр доказать эффективность работы служб маркетинга. Имеются в виду излишние затраты, обусловленные большим количеством провалов новых

продуктов, дорогостоящими рекламными кампаниями с их невысокой эффективностью, низкой эффективностью других методов продвижения продуктов. Это приводит к урезанию маркетинговых бюджетов, к их жесткому контролю. Главные направления снижения отрицательных последствий кризиса лежат в плоскости решения финансово-кредитных проблем (снижение затрат, оптимизация денежных потоков, работа с дебиторами, реструктуризация кредиторской задолженности и др.), преодоления нецелевого использования выделенных государством денежных ресурсов. Маркетинг во многих случаях играет далеко не главную роль в решении задач преодоления кризисных явлений. Его значение и возможности для организаций разных секторов экономики являются различными. Меры, принимаемые в рамках программы антикризисного маркетинга, зависят от конкретной ситуации, размера организации, специфики ее деятельности и возможностей. В то же время следует отметить, что маркетинг помогает оценить перспективность рынка и направлений деятельности организации, найти пути выхода из кризисной ситуации с наименьшими потерями.

Ф. Котлер во время своего визита в Россию в сентябре 1998 г. отметил, что роль маркетинга в ситуациях кризиса возрастает как никогда: именно маркетологи помогают компании выжить за счет поиска новых «ниш», перестройки продуктовой политики, поиска новых резервов и новых точек приложения усилий [4, с. 7]. Именно маркетинговый подход к решению основных проблем компании в период кризиса поможет ей не только смягчить удар, но и продолжить активную коммерческую деятельность. Задача маркетинга – выявить как внешние, так и внутренние причины кризисной ситуации и предложить меры по ее преодолению. В период кризиса необходимо применять специфичный маркетинг, суть которого состоит в оперативном изменении маркетинговой политики организации и всех инструментов комплекса маркетинга в зависимости от изменений внешней и внутренней среды.

Кризисная ситуация является общей для всех занятых данным бизнесом, но рыночное преимущество, позволяющее не только удержать докризисные позиции, но и улучшить их, получает только та организация, которая вовремя отреагировала на изменения, выстроила адекватную стратегию и реализует ее.

Несмотря на непредсказуемый характер развития кризисной ситуации, большинство маркетологов сходятся во мнении относительно целесообразности разработки плана маркетинговых мероприятий. Предпочтение следует отдавать планированию краткосрочных маркетинговых мероприятий. В условиях кризиса увеличивается роль тактических и оперативных решений. Для планирования маркетинга в настоящее время возрастает роль использования ситуационных планов и сценариев, разрабатываемых по мере возникновения потенциально опасных ситуаций или появления новых перспектив развития организации. Механизм адаптации планов маркетинга к внешним и внутренним изменениям состоит в использовании системы планирования маркетинга, предусматривающей внесение уточнений в планы маркетинговой деятельности на периодической основе или при возникнове-

нии существенных изменений. Реализация таких подходов требует повышения уровня оперативности работы с текущей информацией, быстроты реагирования на кризисные явления.

Разработка планов маркетинга в условиях кризиса предполагает переоценку целей и стратегий организации в целом, ее стратегических хозяйственных единиц, отдельных функциональных направлений деятельности, включая маркетинг.

Д. Е. Чесноков, рассуждая по поводу выбора оптимальной стратегии для стимулирования сбыта, высказывает мнение, что именно эта задача становится для маркетолога первоочередной в условиях сегодняшнего кризиса [5, с. 78]. Кризисная ситуация интересна тем, что маркетологи знают реальный докризисный объем рынка, а значит, стратегию на ближайшие один-два года следует рассчитывать именно в показателях 2007–2008 гг. Таким образом, становятся известными примерная доля рынка и объем продаж, что способствует большей точности прогнозов.

Специалисты единогласно отмечают, что современный мировой финансовый кризис осложнил работу большинства предприятий российской экономики. Сектор B2B не стал исключением, что во многом связано со снижением возможности привлечения заемных средств от банков и других финансовых учреждений, падением деловой активности, замораживанием крупномасштабных проектов. Крупные предприятия с оборотом свыше 2–3 млрд руб. в год успели своевременно отреагировать на сложившуюся ситуацию и получить займы у так называемых государственных банков, а средний и малый бизнес оказался в наиболее сложной ситуации. Сервисные компании сектора B2B по обслуживанию офисной и торговой техники столкнулись с проблемой падения спроса, снижением платежеспособности клиентов, задолженности.

Хотя принято считать, что в сложившейся ситуации рынок становится менее конкурентным и требовательным к товару, данная тенденция, на наш взгляд, не вполне прослеживается в сфере сервиса. Конкуренция сервисных компаний все больше смещается в плоскость качества сервиса, индивидуализации обслуживания, построения долгосрочных взаимоотношений с потребителем. На фоне однообразия ценовой политики на рынке сервисных услуг борьбу за потребителя эффективнее вести посредством неценовых факторов, способных обеспечить конкурентные преимущества фирмы.

Известно, что вывод новых услуг является залогом успеха сервисной компании и позволяет ей занять стратегическую рыночную позицию в долгосрочной перспективе. Все большее количество предприятий осознает необходимость разработки и вывода на рынок новых предложений и связанные с этим выгоды. Однако в условиях кризиса следует иметь в виду, что стратегия диверсификации продуктового портфеля несет значительную долю риска и может оказаться заведомо проигрышной. Рынок не способен по достоинству оценить даже самые прогрессивные идеи при нацеленности потребителей на удовлетворение привычных, а иногда и базовых потребностей. Предпочтительной, на наш взгляд, является стратегия концентрации усилий на уже существующих видах

деятельности, их качественном улучшении, усилении конкурентных позиций, расширении сопутствующих видов сервиса и развитии смежных направлений. Стратегия концентрации должна отвечать хотя бы одной из возможных целей: выходу на новые сегменты рынка, росту объема продаж уже существующего сегмента, например, посредством внедрения сопутствующих услуг, повышению степени лояльности клиентов. Реализация стратегии концентрации может осуществляться по следующим направлениям: повышение качества сервиса, внедрение на предприятии системы внутреннего маркетинга, оптимизация маркетинговых затрат с использованием способов малобюджетного продвижения, корректировка системы ценообразования на продукты (услуги) сервисных компаний. Рассмотрим их подробнее.

В кризисных условиях маркетинговые усилия сервисных предприятий должны быть направлены, в первую очередь, на постоянное повышение качества сервиса. Организации и предприниматели, являющиеся клиентами предприятий по обслуживанию офисного и торгового оборудования, заинтересованы в качественном улучшении обслуживания и склонны обращаться к тем сервисным структурам, которые в состоянии предоставить больший объем и разнообразие услуг, к тем субъектам рыночной инфраструктуры, которые способны наладить более качественное обслуживание их производственно-коммерческой деятельности.

Концепция формирования высококачественного сервисного обслуживания офисной и торговой техники, по мнению Д. Шоула [6], основывается на следующих ключевых элементах: на создании высокого уровня обслуживания клиентов (моральный аспект), включающем постоянную работу над повышением лояльности клиентов, мотивации персонала и его обучении, формировании стандартов сервиса, а также организации внутренних бизнес-процессов и создании высококачественных инженерных технологий ремонта и обслуживания техники (материальный аспект). Главное направление, по которому должны развиваться высокотехнологичные фирмы по ремонту и обслуживанию техники, – разработка и реализация стратегии создания первокласного сервиса, способного стать значимым конкурентным преимуществом и дифференцировать позицию компании на рынке.

Потерю каждого клиента надо рассматривать как убытки сервисной компании, а если учесть, что лояльность клиентов необходимо удерживать совершенствованием сервисных услуг, то следует наладить работу по постоянному, каждодневному, существенному улучшению взаимодействия с клиентами. Формирование стратегической устойчивости сервисной компании предполагает постоянное изучение причин оттока клиентов, выработку контрмер и их реализацию. Критерий оценки работы – сведение уровня оттока клиентов к нулю. Необходимо осуществлять постоянный мониторинг мнения клиентов о качестве предлагаемых услуг.

Компании, способные обеспечить высокое качество обслуживания клиентов, обладают существенным конкурентным преимуществом. При этом высокое качество обслуживания должно быть заметным и постоянным. Джон Шоул отмечает, что обслуживание – это то, что

думают о нем клиенты [6, с. 34]. Из вышесказанного следует, что все ресурсы компании и деятельность персонала должны быть направлены на удовлетворение потребностей клиентов.

При оценке качества обслуживания на потребителя могут произвести благоприятное впечатление такие осязаемые и визуальные элементы, как доброжелательный персонал, оформление офиса или места продаж, удобная навигация по сайту компании. По сути, данные элементы есть ничто иное, как упаковка для услуги. Она позволяет повысить ценность бренда, сформировать положительное отношение к услуге.

В кризисных условиях не стоит забывать о том, что успешной сервисную компанию делают не механизмы, а в первую очередь люди, и только грамотная, слаженная работа всех сотрудников организации может сделать предприятие ведущим в своей отрасли даже в период кризиса. Лояльность потребителя находится в прямой зависимости от лояльности персонала. Желание сэкономить на персонале, урезая или задерживая зарплату, ведет к негативным последствиям. Снизить издержки можно многими способами, не затрагивая уровень доходов сотрудников и не увольняя их. Их можно выявить, предложив персоналу поучаствовать в оптимизации бизнес-процессов в форме рационализаторских предложений. Важно помнить, что качество услуг находится в непосредственной зависимости от характера и уровня взаимодействия персонала сервисной фирмы и ее клиентов, от способностей персонала в фиксированное время, а порой немедленно реагировать на запросы клиентов в процессе их обслуживания. Исследования показали, что 68 % уходов клиентов связаны с поведением сотрудников и только 14 % – с качеством и стоимостью услуг фирмы [6, с. 33]. Поэтому на сервисном предприятии целесообразно ввести систему стандартов качественного обслуживания, которые призваны гарантировать установленный уровень качества всех проводимых операций. Примерами стандартов качества могут быть следующие: время обслуживания, работа с жалобами и претензиями, наличие в офисе информационно-рекламных материалов, максимальное время ожидания ответа по телефону, номенклатура предоставляемых услуг, требования к оформлению документов.

Кризис – это отличная возможность наладить на предприятии систему внутреннего маркетинга, не требующего существенных капиталовложений, но являющегося едва ли не самым эффективным элементом всей маркетинговой деятельности сервисной компании. Это достигается за счет рассмотрения сотрудников в качестве первичного рынка организации. Комплекс внутреннего маркетинга может включать следующие элементы: интерактивные коммуникации, помощь в продажах (буклеты, презентации), ценовую политику (уровень зарплат, бонусы и прочие денежные вознаграждения), доступность (гибкий рабочий график, расположение места работы), дополнительные услуги (например, бесплатное питание, организация отдыха). Система внутреннего маркетинга, как указывает Л. С. Латышова [7, с. 20], направлена на формирование двух важнейших составляющих: лояльности персонала и клиентоориентированности (в том числе «сервисного» поведения сотрудников). Оба указанных элемента непосред-

ственно влияют на формирование удовлетворенности клиента. Лояльный персонал – это носитель корпоративной культуры, разделяющий ценности компании. Кроме того, лояльные сотрудники способствуют созданию сильных брендов, отражающих ценности предприятия, которые невозможно скопировать, поскольку ни одна компания не в состоянии в точности воспроизвести организационную культуру другой фирмы с ее уникальными характеристиками и работниками. В то же время лояльный персонал способен соответствовать высоким стандартам обслуживания клиентов, что означает более высокий уровень отдачи. Иными словами, можно говорить о клиентоориентированном подходе в поведении сотрудников. Клиентоориентированность, которая базируется на постоянном отслеживании изменений потребительских предпочтений и вовлечении в процессы реализации маркетинговых решений всего персонала организации, позволит сервисным компаниям дифференцировать их предложения по уровню обслуживания. Повышение потребительской ценности, обеспечиваемое дифференцированным предложением, сильным брендом и грамотно выстроенным комплексом маркетинга, дает возможность фирме сформировать базу лояльных потребителей и установить с ними долгосрочные отношения. При этом наличие такой базы будет непосредственно влиять на финансовые показатели компании, так как клиенты, положительно относящиеся к организации, обращаются повторно, приобретают сопутствующие услуги, рекомендуют другим потребителям, что способствует привлечению новых клиентов, а также обладают меньшей ценочувствительностью. В то же время, поскольку удержание существующих потребителей обходится дешевле, чем привлечение новых, фирма может сократить свои маркетинговые расходы.

Таким образом, разные предприятия, исходя из ситуационного анализа, могут следовать различным маркетинговым стратегиям. Однако для сервисной компании очевидно, что современный мировой финансовый кризис предоставляет благоприятную возможность повысить степень клиентоориентированности фирмы, эффективность внутренних бизнес-процессов, оптимизировать маркетинговые затраты, сконцентрировать усилия на качественном улучшении сервиса. Предложенная авторами стратегия концентрации способна поддержать докризисный уровень функционирования предприятия, отладить рыночные механизмы саморегуляции и совершенствования организационной системы, дифференцировать сервисное предложение на рынке, а также сформировать значимые конкурентные преимущества компании, обеспечивающие ее стратегическую устойчивость и конкурентоспособность в долгосрочной перспективе. Данная стратегия была внедрена в деятельность Технического центра, специализирующегося на обслуживании контрольно-кассовой техники и автоматизированных систем торговли. Она заключается в выводе на рынок дополнительных поддерживающих узкоспециализированных услуг по обслуживанию компьютерной техники и позволяет сохранить докризисные объемы продаж, занять более прочную позицию на освоенном рынке услуг автоматизации, обеспечив ее дополнительными конкурентными преимуществами.

Библиографические ссылки

1. Косых, В. Н. Стратегия маркетинга в условиях кризиса // Маркетинг услуг. 2009. № 1. С. 35–42.
2. Пасура А., Райэл Л. Ценообразование в сфере информационно-коммуникационных технологий // Маркетинг и маркетинговые исследования. 2008. № 1. С. 74–88.
3. Козуля И. И. Служба маркетинга и мировой кризис // Маркетинг и маркетинговые исследования. 2009. № 2. С. 59–65.
4. Голубков Е. П. Антикризисный маркетинг // Маркетинг в России и за рубежом. 2009. № 1. С. 5–17.
5. Чесноков Д. Е. Маркетинг во время и после кризиса // Маркетинг и маркетинговые исследования. 2009. № 2. С. 75–81.
6. Шоул Д. Первокласный сервис как конкурентное преимущество. М. : Альпина Бизнес Букс, 2006.
7. Латышова Л. С., Пантелеева Е. Н. Влияние внутреннего маркетинга на результативность бизнеса // Маркетинг и маркетинговые исследования. 2009. № 1. С. 18–31.

O. N. Kotova, S. P. Ostapenko

MARKETING STRATEGIES OF SERVICE COMPANIES IN CONDITIONS OF THE CONTEMPORARY WORLD FINANCIAL CRISIS

Problems of development service companies of B-2-B market are considered in the article, possible marketing strategies are offered. Also highlighted are the opinions of different researchers on the advantages and disadvantages of the following accepted strategy. A new model of the concentration strategy is developed by the authors, characterized as the most acceptable. The main directions of marketing policy capable to sustain the level of company functioning prior to the crisis, improvements to the mechanism of market regulation, supply differentiation on the market, creation of significant competitive advantages of a company, the providing of its strategic stability and competitive ability in the long term are presented.

Keywords: economic crisis, concentration strategy, internal marketing, client orientation approach, strategic stability.

© Котова О. Н., Остапенко С. П., 2010

УДК 332.146.2

Н. Б. Александрова

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА

Предложен механизм формирования стратегии инновационного развития регионального лесопромышленного комплекса на основе оценки его инновационного потенциала и комплексного подхода к отбору инновационных проектов. Определены виды инноваций на предприятиях, входящих в производственную цепочку комплекса. Обозначены задачи регионов по стимулированию инновационной деятельности в лесопромышленном комплексе.

Ключевые слова: инновационное развитие, инновационный потенциал, инновационная стратегия, лесопромышленный комплекс.

За последнее десятилетие инновации стали ключевым элементом для достижения успеха лесопромышленных компаний во всем мире. Основным двигателем инновационных процессов в лесопромышленном комплексе (ЛПК) является получение конкурентного преимущества. В современных условиях большое значение приобретают усилия региональных властей по созданию благоприятных условий инновационного развития и управлению инновационным потенциалом отраслевых комплексов. Целью настоящей работы является разработка методологических подходов к формированию стратегии инновационного развития ЛПК региона.

Под лесопромышленным комплексом традиционно понимается совокупность хозяйствующих субъектов, осу-

ществляющих использование и воспроизводство лесных ресурсов, объединенных по функциональному и территориальному признаку. Так, по определению Б. А. Осипова, лесопромышленный комплекс – это совокупность отраслей и производств на территории отраслевого района (страны), имеющих единый предмет труда – лесные ресурсы и последовательно осуществляющих производственные процессы по их взаимному использованию, воспроизводству и охране [1].

Вышеуказанное определение достаточно полно отражает основные характеристики ЛПК, однако оно не учитывает степень взаимодействия предприятий, глубину переработки лесных ресурсов, так же как и процессы управления развитием лесопромышленного комплекса.

В современных условиях представляется целесообразным рассматривать ЛПК региона на основе интеграционного подхода, рассмотренного в работе П. А. Муллера. Интеграционный подход предполагает формирование структуры отраслевого комплекса по технологическому признаку и по признаку инвестиционной привлекательности. В соответствии с этим, отраслевой комплекс представляет собой совокупность стратегических комплексов предприятий и разнородных дополняющих фирм, обеспечивающих его развитие.

Таким образом, в структуру ЛПК входят следующие виды организаций [2]:

1) предприятия всех этапов технологической цепочки, в состав которой входят лесоводческие, лесозаготовительные, лесопильные, деревообрабатывающие, целлюлозно-бумажные, лесохимические производства;

2) организации производственной, социальной, институциональной и рыночной инфраструктуры, обеспечивающие функционирование и развитие основных технологических лесопромышленных предприятий;

3) предприятия материально-технического снабжения ЛПК;

4) научно-исследовательские структуры и образовательные организации, осуществляющие подготовку трудовых ресурсов для ЛПК;

5) организации, осуществляющие поставку средств производства основным производственным лесопромышленным предприятиям.

Инновационное развитие лесопромышленного комплекса региона предполагает изменение пропорций внутри комплекса между отдельными производствами, а также изменения в продуктовой и технологической стратегии предприятий, при которых реакция на динамику факторов внешней среды (запросы потребителей, наличие ресурсов, воздействие со стороны государства, общественности и пр.) осуществляется на основе использования результатов научно-технического прогресса в виде внедряемых результатов научных разработок (производство новых продуктов, использование новых технологий и пр.), приводящих к качественным изменениям в результатах деятельности в социальном, экономическом, научно-техническом и экологическом аспектах.

Принципиальным отличием инновационного развития от интенсивного роста экономики является то, что речь идет не просто об увеличении выпуска конечной продукции за счет более рационального использования ресурсов, а об изменениях, технологических сдвигах в самой структуре организации производственного процесса, методах и пропорциях распределения получаемых благ [3].

На производствах ЛПК, формирующих технологическую цепочку данного комплекса, выделим следующие виды инноваций:

1. Лесозаготовительные предприятия. Разработка и внедрение технологий заготовки древесины с комплексным использованием сырья и соблюдением экологических требований на базе нового поколения машин; внедрение перспективных ресурсосберегающих технологий для переработки древесины на нижних складах, а именно использование оборудования модульного типа и техно-

логии заготовки и переработки дровяной древесины для использования ее в энергетических целях.

2. Деревообрабатывающие предприятия. Использование современного отечественного оборудования для производства древесных плит (ДВП, ДСП, МДФ, OSB), деревянных клееных конструкций, LVL, фанеры, линий лесопиления на базе ленточнопильных, круглопильных и фрезернопильных станков для заводов малой, средней и большой мощности с автоматизацией управления, сортировки и учета, а также более совершенных позиционных станков. Развитие деревянного домостроения, дверных и оконных блоков, мебели на основе современных строительных древесных материалов. Освоение более радикальных инноваций, таких как пиломатериалы с ориентированной композиционной структурой (OSL), прессованные под паром блочные пиломатериалы (PSL) и композиты из древесины и недревесных материалов и др.

3. Целлюлозно-бумажные предприятия. Освоение на действующих производствах энергосберегающих и экологически менее опасных технологий: варки с «углубленной» делигнификацией и «холодной» выгрузкой массы; отбелки целлюлозы без элементарного хлора; размола при повышенной концентрации массы и с фракционированием волокна; проклейки бумаги в нейтральной среде и повышением содержания наполнителя в композиции. На предприятиях с варкой целлюлозы сульфитным способом – освоение производства бисульфитной целлюлозы с магниевым основанием и регенерацией химикатов. Актуальным является производство термомеханической и химико-термомеханической древесной массы с широким использованием низкокачественной древесины и макулатуры; увеличение использования макулатуры до уровня развитых стран (до 50 % вторичного волокна), а также освоение нового оборудования: эффективных дробильных машин, варочных аппаратов с использованием пульсационной техники, установок по кислородной делигнификации, аппаратов для биологической обработки древесной щепы и пр.

4. Лесохимические предприятия. Внедрение новых принципов и методов комплексного использования всех основных компонентов древесной массы (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, экстраактивных веществ), а также с вовлечением в химическую переработку древесных отходов, некондиционной и малоценной древесины. Практическая реализация достигнутых в этой области результатов позволит получать широкий ассортимент ценных химических продуктов для медицины, фармацевтической, пищевой, парфюмерно-косметической, химической отраслей, сельского хозяйства и бытовой химии. Своевременной является также разработка новых технологий энергетического использования растительной биомассы.

Стратегия инновационного развития ЛПК региона представляет собой, с одной стороны, комплексный план развития данного комплекса в целях экономического развития инновационного типа, с другой – процесс разработки и реализации управленческих решений для достижения целей инновационного развития комплекса. Целью инновационной стратегии является долгосрочное конкурентное преимущество ЛПК региона, основанное на непре-

рывной инновационной деятельности, эффективность которой играет ключевую роль как в увеличении производительности на предприятиях комплекса, так и в создании новых конкурентоспособных товаров в регионе.

В настоящей работе определена стратегия инновационного развития лесопромышленного комплекса региона как целенаправленный процесс разработки и реализации управленческих решений, направленных на создание и развитие продуктовых и технологических инноваций в ЛПК, принципы которого формируются общей стратегией развития данного комплекса. Обозначенная стратегия инновационного развития является частью национальной и региональной политики и определяет экономические, социальные, технологические, экологические и другие задачи развития ЛПК.

Процедура разработки стратегии инновационного развития ЛПК региона включает следующие этапы:

- 1) анализ факторов внешней и внутренней среды, а также уровня инновационного развития ЛПК;
- 2) определение направлений развития, включающее формулирование стратегий, анализ инновационного потенциала для их реализации и выбор альтернативы;
- 3) реализация инновационных стратегий, включающая отбор инновационных проектов, проведение инновационных изменений;
- 4) анализ внедрения инноваций в ЛПК.

Оценка факторов внешней и внутренней среды лесопромышленного комплекса региона проводится с помощью PEST-анализа, SWOT-анализа и отраслевого анализа. Так, анализ внешних возможностей и угроз, а также сильных и слабых сторон ЛПК с помощью матрицы SWOT позволяет получить обзорную оценку стратегического состояния данного комплекса.

При этом под сильными сторонами ЛПК региона понимаются те внутренние факторы, которые обеспечивают его конкурентное преимущество. К ним можно отнести выгодное географическое положение, доступную лесосырьевую базу, высокую репутацию предприятий, входящих в комплекс, высококвалифицированные кадры, современные производственные мощности, высокий потенциал научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), финансовые ресурсы, достаточные для развития, опыт производства инновационной продукции, наличие и возможность использования эффекта масштаба производства и др. Слабые стороны регионального ЛПК включают в себя внутренние факторы, которые ставят его в худшие условия по сравнению с конкурентами. В частности, это отсутствие ясной стратегии развития комплекса, устаревшее оборудование на предприятиях комплекса, недостаточная квалификация и опыт ключевых специалистов, отставание по техническим параметрам выпускаемой продукции, узкий ассортимент, плохая репутация, отсутствие сырьевой базы, дефицит финансовых ресурсов и др.

Наиболее значимые сильные стороны ЛПК становятся основой инновационной стратегии. При этом отрицательное воздействие слабых сторон на стратегическую позицию ЛПК региона должно сводиться к минимуму.

Возможности, рассматриваемые в SWOT-анализе, в значительной степени основаны на отраслевых ключе-

вых факторах успеха. К ним относят выход на новые рынки, выход на новые группы покупателей, производство и продажу сопутствующих товаров, вертикальную интеграцию предприятий комплекса, ослабление внешнеторговых барьеров, быстрый рост рынка, ослабление позиций конкурентов и др. Отдельные факторы внешнего окружения могут представлять угрозы для ЛПК региона. Они могут включать в себя вторжение в конкурирующие регионы мощных компаний с низкими издержками или высоким качеством продукции, низкий темп роста рынка, изменение потребностей потребителей, ужесточение внешнеторговых барьеров и (или) государственного регулирования и др.

Грамотно построенная стратегия должна быть ориентирована на использование возможностей, адекватных ресурсам ЛПК, и обеспечивать наиболее полную защиту от угроз, связанных с изменением внешней среды.

После анализа внешней и внутренней среды мы предлагаем проводить оценку уровня инновационного развития ЛПК региона, а также его инновационного потенциала (ИП) и далее применять комплексный подход к отбору инновационных проектов для развития данного комплекса.

Уровень инновационного развития отраслевого комплекса может быть оценен системой качественных и количественных показателей, при этом наиболее показательными, на наш взгляд, являются интегральные критерии оценки инновационного развития. К примеру, обобщенная оценка уровня инновационного развития может быть охарактеризована степенью его влияния на конечные результаты деятельности хозяйственного субъекта:

$$ИУ = П / З,$$

где ИУ – инновационный уровень развития субъекта хозяйствования; П – прирост прибыли; З – затраты на производство [4].

Потенциал (от лат. *potentia* – сила, мощь) в широком смысле означает «совокупность имеющихся средств, возможностей в какой-либо области» [5]. Единого определения «инновационный потенциал» не существует, разные авторы трактуют это понятие по-своему. В настоящей работе под инновационным потенциалом ЛПК региона понимается совокупность ресурсов и возможностей для создания, освоения и распространения инноваций в лесопромышленном комплексе на территории региона.

Таким образом, к инновационному потенциалу ЛПК региона относятся не только ресурсы, необходимые для инновационного развития, но и условия деятельности предприятий комплекса, которые обеспечивают возможность реализации имеющихся ресурсов.

К совокупности ресурсов инновационного потенциала относится наличие конкретных видов ресурсов (материально-технических, финансовых, кадровых, информационных, технологических, организационных, экологических и др.), которые в перспективе могут быть использованы в соответствии с прогнозными ожиданиями.

Под возможностями реализации ресурсов для инновационного развития понимаются те условия, которые обуславливают процессы создания и внедрения новых товаров, обеспечивают взаимосвязи новатора как с наукой, предоставляющей прогрессивные идеи, так и с рын-

ком, потребляющим готовый продукт, методы и способы управления инновационным процессом.

Результатом использования инновационного потенциала является реальный фактический инновационный продукт, который был получен в инновационном процессе. Данный продукт, являясь результатом количественного и качественного изменения, несет в себе потенциальные возможности вывода на новый уровень функционирования как инновационного потенциала, так и системы в целом [6].

Величина инновационного потенциала является параметром, позволяющим оценить возможности инновационной деятельности в ЛПК региона и определить стратегию инновационного развития.

Каждую составляющую ИП можно представить в виде совокупности соответствующих показателей. Инновационный потенциал, в конечном итоге, будет представлен в виде системного показателя. Оценка составляющих инновационного потенциала основывается на анализе качественных и количественных характеристик – преимущественно статистических данных об инновационной деятельности в региональном лесопромышленном комплексе. Тем самым определяется способность ЛПК к осуществлению инновационной деятельности, т. е. к развитию на более качественной основе.

Показатели оценки инновационного потенциала ЛПК региона определяются с учетом разработанных методологических подходов и данных официальной статистики (см. таблицу).

Оценка показателей инновационного потенциала лесопромышленного комплекса региона позволит адекватно оценить состояние инновационной сферы ЛПК региона, спрогнозировать основные направления его дальнейшего развития, выявить сильные и слабые стороны ЛПК региона, определить соответствующие меры региональной политики в инновационной сфере ЛПК, проводить мониторинг инновационной деятельности предприятий с целью оценки итогов инновационной деятельности в ЛПК региона. На основании результатов оценки инновационного потенциала регионально-го ЛПК формулируется стратегия его инновационного развития.

Решающее значение при реализации стратегии инновационного развития ЛПК региона имеет отбор инновационных проектов, основанный на комплексном подходе. В российской практике для анализа и оценки инноваций применяются Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция, исправленная и дополненная), утвержденные со-

Показатели оценки инновационного потенциала регионального ЛПК

Составляющие ИП		Показатели ИП
Ресурсы	Материально-технические	Объем затрат на создание, приобретение и распространение инноваций Объем затрат на технологические инновации Удельный вес затрат на инновации в общем объеме выпускаемой продукции, %
	Финансовые	Инвестиции в основной капитал инновационно активных предприятий Затраты на технологические инновации по источникам финансирования Доля затрат по источникам финансирования в процентах к товарообороту Объем прямых иностранных инвестиций в НИР
	Технологические	Уровень износа основных производственных фондов, % Коэффициент обновления основных производственных фондов, % Удельный вес оборудования со сроком эксплуатации до 10 лет, отн. ед.
	Кадровые	Затраты на высшее образование в ЛПК Численность занятых в сфере науки и высоких технологий Доля работников с высшим образованием в общей численности промышленно-производственного персонала, отн. ед. Доля затрат на профессиональное обучение в общем объеме издержек на рабочую силу, отн. ед.
	Информационные	Затраты на приобретение информационных ресурсов по предприятиям ЛПК региона Количество предприятий, обеспеченных персональными компьютерами и др.
Условия	Государственная поддержка	Бюджетное финансирование НИОКР и НИР в ЛПК (в % к ВРП) Показатели льготирования деятельности инновационно активных предприятий Количество выданных патентов Доля инноваций ЛПК в бюджете региона
	Инновационная инфраструктура	Показатели насыщенности региона инвестиционно-финансовыми институтами, в том числе предприятиями венчурной индустрии; малыми инновационными предприятиями; информационной сетью; инновационными структурами (технопарки, бизнес-инкубаторы, инновационные центры, коучинг-центры); специализированными фондами и т. д.



Результат	Для бюджетов различных уровней	Рост числа инновационно активных предприятий в ЛПК региона Рост объемов инновационной продукции, в том числе экспортоориентированной Рост доли инноваций в ЛПК региона
	Для инвесторов	Рост показателей эффективности инновационно активных предприятий (рост прибыли, рентабельности, оборачиваемости, производительности труда, обновляемости оборудования и т. д.)
	Для населения региона	Показатели социальной полезности инноваций (рост доходов работников ЛПК региона, влияние на бюджетную наполняемость региона, рост рейтинга социальной обеспеченности среди регионов РФ)

вместным постановлением Минэкономики РФ, Минфин РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. № ВК 477.

Данными рекомендациями установлены следующие показатели эффективности проекта:

- коммерческая эффективность, учитывающая финансовые последствия реализации проекта для его непосредственных участников;
- бюджетная эффективность, отражающая финансовые последствия осуществления проекта для федерального, регионального и местного бюджетов;
- народнохозяйственная экономическая эффективность, учитывающая затраты и результаты, связанные с реализацией проекта, выходящие за пределы прямых финансовых интересов его участников (производственные, социальные, политические, экологические, прямые и косвенные финансовые результаты) [7].

Как правило, финансирование инновационных проектов в России осуществляется на основе показателей коммерческой и бюджетной эффективности (реже – социальной). Вместе с тем, на наш взгляд, при формировании стратегии инновационного развития ЛПК региона большое значение имеют научно-технический (новизна, изобретательский уровень и практическая польза нововведения) и экологический (ресурсоемкость, энергоемкость, выбросы в окружающую среду) эффекты.

Кроме того, при комплексном подходе к оценке и отбору инновационных проектов необходимо учитывать возможность обеспечения мультипликативного эффекта в ЛПК региона рассматриваемыми инновационными проектами. В этом случае реализация отобранных проектов позволит выйти на новый качественный уровень совокупности взаимосвязанных и взаимодополняющих производств. Направления комплексной оценки эффективности инновационных проектов на базе многомерного сравнительного анализа представлены на рисунке [8].

В зависимости от уровня инновационного развития ЛПК региона могут быть определены следующие направления отбора инновационных проектов для предприятий:

- приобретение технологий в развитых странах;
- приобретение отечественных технологий, разработанных в других регионах;
- приобретение результатов НИОКР у региональных научно-исследовательских организаций (академические, вузовские, отраслевые структуры) и доведение их до промышленного и рыночного применения либо заказ промышленных предприятий на результаты региональных НИОКР.

Механизмом управления приоритетными проектами может стать формирование региональных программ двух типов:



1. Региональные программы с возможным привлечением финансовых средств из государственного бюджета на научную часть программы. При этом важна организация трастовых компаний как органов финансового управления процессом выполнения инновационной программы, представляющей интересы федерального органа, выделившего финансовые средства.

2. Программы региональной значимости с преимущественной ориентацией на частные инвестиции, включающие разработку мер регионального стимулирования венчурного капитала, развитие инновационной инфраструктуры, формирование банка данных о научных разработках [9].

Особенность региональной инновационной политики заключается в том, что регион создает предпосылки и условия инновационного развития и в большей степени косвенно, чем напрямую, влияет на интенсивность инновационных процессов. Среди задач региона, которые относятся к управлению инновациями в ЛПК, можно выделить расширенное воспроизводство региональных интеллектуальных ресурсов, развитие инновационной инфраструктуры региона и создание благоприятных условий для инновационной деятельности. При реализации инновационной стратегии ЛПК на региональном уровне могут быть использованы следующие рычаги: региональное законодательство, региональные льготы, отвод земли, предоставление аренды и др. [10].

Формирование стратегии инновационного развития ЛПК региона, на наш взгляд, является необходимым условием вывода предприятий комплекса на новый качественный уровень. Оценка инновационного потенциала регионального ЛПК позволит определить способность и готовность комплекса к инновационному развитию, в том числе на основе научно-технических разработок, существующих в регионе. Комплексный подход к оценке и отбору инновационных проектов с использованием многомерного сравнительного анализа обеспечит целенаправленное финансирование наиболее перспективных для развития региона инноваций в лесопромышленном комплексе. Направлением дальнейшей научно-иссле-

тельской работы является практическое применение разработанных подходов к ЛПК Красноярского края.

Библиографические ссылки

1. Осипов Б. А. Научно-методические основы формирования и развития регионального лесного комплекса (на примере лесного комплекса ДВЭР) : дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.05. Владивосток, 2002.
2. Муллер П. А. Формирование конкурентных преимуществ отраслевых комплексов на основе интеграции (на примере лесопромышленного комплекса Красноярского края) : дис. ... канд. экон. наук. Красноярск, 2006. С. 30–183.
3. Фоломьев А. Обоснование инновационного типа воспроизводства // Экономист. 2005. № 8. С. 40–45.
4. Александрова Н. Б. Методологические подходы к разработке стратегии инновационного развития отраслевого комплекса // Актуальные проблемы современного менеджмента : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. (28 апр. 2009, г. Томск). Томск : Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2009. С. 9–15.
5. Большой экономический словарь / под ред. А. Н. Азриляна. 4-е изд., доп. и перераб. М. : Ин-т новой экономики, 1999. С. 705.
6. Инновационный потенциал: современное состояние и перспективы развития : моногр. / В. Г. Матвейкин [и др.]. М. : Машиностроение-1, 2007.
7. Кокурин, Д. И. Инновационная деятельность. М. : Экзамен, 2001. С. 126.
8. Трифилова А. А. Оценка эффективности инновационного развития предприятия. М. : Финансы и статистика, 2005.
9. Крылов Э. И., Власова В. М., Журавкова И. В. Анализ эффективности инвестиционной и инновационной деятельности предприятия : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Финансы и статистика, 2003.
10. Инновационный менеджмент : учеб. пособие для вузов / С. А. Кузнецова [и др.]. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2005.

N. B. Aleksandrova

FORMING OF THE INNOVATION STRATEGY OF THE REGIONAL TIMBER PROCESSING COMPLEX

This work suggests the mechanism of forming of the innovation strategy of the regional timber processing complex on the basis of estimation of innovation potential of the complex and the comprehensive approach to the selection of innovation projects. Types of innovations at the wood enterprises included into the production chain are determined. Tasks of the regional policy connected with stimulation of the innovation activity in the wood complex are emphasized.

Keywords: innovation development, innovation potential, innovation strategy, wood complex.

© Александрова Н. Б., 2010

М. А. Тимофеева

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ

Рассматриваются вопросы оценки социально-экономического развития (СЭР) административно-территориальных образований различного уровня. Обобщается опыт применения методик анализа СЭР и качества (уровня) жизни населения в Российской Федерации. Отмечается необходимость создания новых систем оценки. Предлагается методика комплексной оценки СЭР и качества жизни, включающая объективные и субъективные показатели, и изучается возможность ее применения.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие, качество жизни, методики оценки.

В экономической практике для определения уровня социально-экономического развития той или иной страны применяют различные показатели. Главным индикатором национальной экономики является валовой внутренний продукт (ВВП). Принято считать, что увеличение этого показателя отражает экономический рост, рыночную активность, богатство страны, а следовательно, и благополучие граждан.

С 2003 по 2008 гг. рост ВВП в России составляет около 6 % в год. Означает ли это, что жизнь среднестатистического россиянина с каждым годом становится все лучше и лучше? Постепенно во всем мире происходит переосмысление значения этого показателя в оценке уровня социально-экономического развития. Все более применимыми становятся стандарты проживания и показатели качества жизни населения.

В Российской Федерации ежегодно Минэкономразвития России, Госкомстат России и Минфин России проводят мониторинг социально-экономического развития в целях совершенствования системы государственного управления на различных уровнях и обеспечения комплексного анализа эффективности и качества работы административных структур.

Основным документом, применяемым для анализа макроэкономического развития регионов и субъектов РФ, является форма 2п «Основные показатели, представляемые для разработки прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2006 г. и на период до 2009 г. (для субъектов Российской Федерации)». Она представляет собой документ статистической отчетности и включает следующие показатели по разделам: демографические, производства товаров и услуг, рынка товаров и услуг, внешнеэкономической деятельности; малого предпринимательства, инвестиций, финансов, денежных доходов и расходов населения; труда и занятости; развития социальной сферы; охраны окружающей среды и туризма. На основании данных, предоставляемых субъектами РФ по этой форме, в Министерстве экономического развития и торговли РФ анализируется и проводится оценка текущего состояния страны, а также разрабатываются сценарные прогнозы развития на ближайшие три года.

Что же касается мониторинга СЭР и качества жизни на мезоуровне, то в этой области существуют объективные трудности. Проведенный нами анализ стратегичес-

ких документов двух субъектов (Москва и Санкт-Петербург) и 13 городов РФ (Новосибирск, Екатеринбург, Казань, Ростов-на-Дону, Уфа и пр.) показал, что к ним, прежде всего, можно отнести следующее:

1. Отсутствие единой нормативно-правовой и информационной базы для проведения анализа.

2. Разработанные и применяемые системы оценки включают различные качественные и количественные показатели, характеризующие достижение социально-экономических ориентиров, при этом они практически не затрагивают вопросы оценки качества и уровня жизни населения, проживающего на определенной территории.

3. В рассмотренных нами методиках [1–5] существенным образом разнится суммарное количество разделов и показателей (от 20 до 800 критериев оценки), вследствие чего невозможно провести сравнительный анализ и выявить диспропорции в развитии регионов страны. Не вызывает сомнений, что необходимо рационально подходить к определению количества анализируемых показателей, чтобы не допустить превращения мониторинга в неоправданно длительный и затратный процесс.

4. Разработчики часто включают в системы оценки сложные и неоднозначные для понимания и расчета показатели, что приводит к снижению качества и искажению результатов анализа. На наш взгляд, выбор оценочных показателей (качественных, количественных, стоимостных и пр.) требует тщательного обоснования. К ним следует предъявлять, в первую очередь, такие требования, как конкретность, измеримость и достижимость.

5. Характерной чертой для большинства методик оценки СЭР является жесткая привязка показателей к организационной структуре административно-территориальных образований. Это приводит к включению в них таких показателей, которые могут необъективно завышать результаты оценки.

6. В большинстве стратегических разработок отсутствует анализ мнения жителей относительно изменений, происходящих в качестве и уровне их жизни. По нашему мнению, контроль и оценка результатов стратегического планирования должны быть общественными, чтобы не только оценить успехи, но и своевременно принимать необходимые управленческие решения, направленные на корректировку стратегических целей и задач.

Следует отметить, что на региональном уровне предпринимаются отдельные попытки разработать новые под-

ходы к оценке уровня и качества жизни населения. В частности, с этой целью Правительство Санкт-Петербурга утвердило перечень стандартов проживания, который подразделяется на три группы и включает в себя 793 показателя [1]:

– отраслевые стандарты проживания в Санкт-Петербурге (329 показателей);

– стандарты обеспечения жизнедеятельности в Санкт-Петербурге (252 показателя);

– стандарты качества услуг (212 показателей).

Каждый стандарт содержит формулировку обязательств исполнительных органов власти и систему критериев оценки развития города и, следовательно, призван объективно отражать качество развития городской среды и уровень жизни населения.

Мировой опыт показывает, что рост материального благополучия граждан не всегда приводит к удовлетворенности жизнью и улучшению ее качества. Например, в Японии с течением времени зависимость между товарным насыщением домашних хозяйств и позитивными потребительскими оценками текущего положения и перспектив начала несколько ослабевать. При продолжавшемся возрастании материального благополучия часть японцев стала выражать пессимизм в отношении будущего. Это было вызвано возникновением неведомых прежде острых социально-психологических проблем, представлявших собой как бы обратную сторону стремительного экономического развития на базе выдающихся достижений научно-технического прогресса [6]. Обострение экологических проблем, ускорение ритма повседневной жизни приводят к различным стрессам и возникновению чувства разочарования. Это является общемировой проблемой. Поэтому естественным становится расширение стандартов проживания за счет социальных и духовных составляющих, которые и определяют в итоге качество жизни отдельного гражданина.

Вопрос о структуре и показателях качества жизни остается пока дискуссионным. Существуют две основные проблемы в оценке качества жизни.

Во-первых, чрезвычайно сложно разработать универсальную методику оценки качества жизни. Естественным будет включение в нее целого ряда нематериальных компонентов, измерение которых с помощью объективных показателей практически невозможно. Например, речь идет об удовлетворении потребностей в самоутверждении, уважении со стороны окружающих, в творчестве, в общественно-политической жизни; о типе внутрисемейных отношений и отношений с друзьями; о мере доверия к государственным институтам и т. д.

Во-вторых, качество жизни должно оцениваться исключительно субъективным отношением тех, кого будет охватывать социологическое исследование. Показательным здесь является пример Канады, где в 1999 г. была предпринята одна из первых попыток создания национального образца индикаторов качества жизни, который включает в себя набор проблем, отражающих важнейшие аспекты жизни индивидуума [7]. Все проблемы объединены в 9 блоков и включают 40 индикаторов:

- 1) жилье;
- 2) доступность услуг;
- 3) качество окружающей среды;

4) бытовые финансы;

5) карьера;

6) социальные возможности и мобильность;

7) участие в демократических процессах;

8) социальная стабильность;

9) образование.

Ежегодно канадцы (выборка составляет 500 человек) оценивают изменения качества своей жизни по этим показателям, используя при этом следующую шкалу оценки: «стало хуже», «осталось без изменений», «стало лучше». Результаты опроса публикуются в ежегодном отчете «Качество жизни в Канаде».

В российской же практике не существует комплексной оценки качества жизни населения, которая проводилась бы регулярно и в течение ряда лет и отражала бы динамику показателей в масштабах страны. Пока же характерной чертой мониторинга социально-экономического развития является субъективность и расхождение в оценках официальной статистики, в отчетах глав, министерств и ведомств и реальных представлений граждан о качестве жизни. С нашей точки зрения, с учетом накопленного положительного опыта, необходимо создавать новые системы оценки, включающие в себя такие оценочные показатели, которые будут более объективно отражать уровень жизни населения как на федеральном, так и на региональном уровне.

Особенностью новой методики оценки СЭР и качества жизни должна стать ее комплексность. В частности, с одной стороны, она должна всесторонне изучать СЭР определенной территории и быть адаптирована к деятельности административно-территориальных образований различного уровня. С другой стороны, объективно отражать уровень и качество жизни населения.

Структура, предлагаемой нами методики оценки, представлена на рис. 1.

Рассмотрим особенности ее применения на примере сферы здравоохранения Кировского района г. Санкт-Петербурга. Информацией для проведения исследования послужили отчеты и планы СЭР Кировского района, данные социального паспорта и бюджетной росписи, материалы заседаний рабочих групп, отчеты отдела здравоохранения за 2007 г. и др.

Состояние и развитие данной сферы, на наш взгляд, достаточно объективно характеризуют показатели, представленные в табл. 1. Часть из них встречается в ряде других разработок [1; 3; 5], но большинство представленных показателей являются исключительно нашей заслугой.

Проведенный анализ показал, что большинство показателей, характеризующих состояние и развитие здравоохранения Кировского района, имеют низкие значения и не достигают целевых ориентиров, установленных в стандартах проживания в Санкт-Петербурге.

Важнейшей составляющей развития сферы здравоохранения района является ее бюджетная обеспеченность. Анализ финансирования деятельности медицинских учреждений представлен на рис. 2.

Анализ данных (рис. 2) показывает, что за период с 1997 по 2007 гг. объем средств, выделяемых на развитие здравоохранения, увеличился более чем в 33 раза. Следует отметить, что доля расходов на здравоохранение составляет око-

ло 23 % от совокупных расходов администрации в течение года (вторая после расходов на образование статья расходов бюджета). Означает ли это, что существенным образом улучшилось состояние учреждений здравоохранения района и качество предоставляемых медицинских услуг?

Для всестороннего изучения данного вопроса нами была разработана типовая форма анкеты, которая включает ряд вопросов социально-экономического характера, в том числе о состоянии и развитии системы здравоохранения, а затем проведено пилотное обследование жителей Кировского района (выборка составила 55 человек), которое показало следующее:

- положительные изменения в состоянии учреждений здравоохранения в районе отметили лишь 9 % опрошенных; большинство респондентов считает, что состояние медицинских учреждений стало хуже или осталось без изменений – 36,4 и 45,5 %, соответственно;

- 12,7 % опрошенных полагают, что качество медицинского обслуживания улучшилось, а около 75 % жителей района считают, что оно ухудшилось или не наблюдают видимых изменений; следует отметить, что 11 % респондентов затруднились с ответом на данный вопрос;

- довольны качеством медицинских услуг, предоставляемых в учреждениях здравоохранения района, около 6 % респондентов, а более 67 % опрошенных считают его низким и, следовательно, неудовлетворительным;

- наибольшую тревогу в медицинском обслуживании у населения вызывают сокращение объема бесплатной медицинской помощи (30,3 % опрошенных), снижение качества медицинского обслуживания (21,1 %) и высокая стоимость лекарств (17,8 %).

Нами был также проведен анализ доступности для населения района ряда медицинских услуг, результаты которого представлены в табл. 2.

Таким образом, большая часть респондентов (60,6 %) испытывает недостаток денежных средств на приобретение лекарств и медицинских услуг.

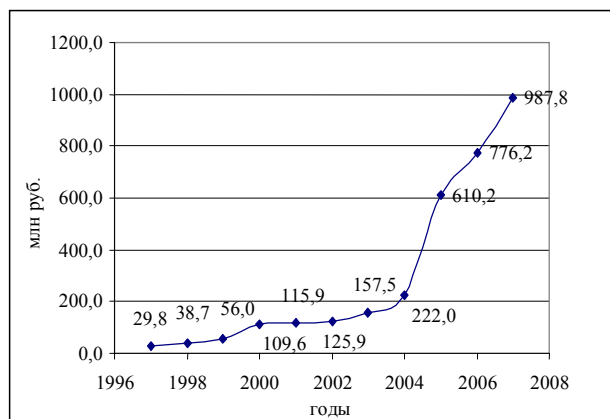


Рис. 2. Бюджетное финансирование здравоохранения Кировского района в 1997–2007 гг.

На основании полученных результатов комплексной оценки здравоохранения района можно сделать следующий вывод: несмотря на значительное увеличение финансирования учреждений здравоохранения (обновление материально-технической базы, рост оплаты труда медицинского персонала, подготовку и переподготовку кадров и пр.) и рост ряда объективных показателей, среди населения района преобладают преимущественно пессимистические настроения в отношении состояния и развития данной сферы. Большинство жителей неудовлетворены как качеством, так и доступностью медицинских услуг. Выполняется ли при этом основная цель развития здравоохранения, заявленная в плане СЭР Кировского района, – повышение качества медицинской помощи и профилактика заболеваний населения?



Рис. 1. Алгоритм проведения оценки СЭР и уровня (качества) жизни населения административно-территориальных образований различного уровня

Таблица 1

Оценка качества (уровня) жизни населения на примере сферы «Здравоохранение» Кировского района Санкт-Петербурга

[illegible]

Без разработки и применения новых методик оценки СЭР и качества жизни, на наш взгляд, трудно рассчитывать на совершенствование системы государственного планирования и управления, а следовательно, и рост качества жизни населения.

Вопросы измерения качества жизни – важнейший интегральный критерий оценки результативности деятельности административно-территориальных образований различного уровня. В Российской Федерации система мониторинга СЭР и качества жизни, которая позволяла бы проводить сравнительный анализ и выявлять диспропорции в развитии регионов страны, пока не создана. Это обуславливает актуальность исследования. Разработанная методика комплексной оценки СЭР и качества жизни населения, которая включает объективные и субъективные показатели, апробирована на примере сферы «Здравоохранение» Кировского района Санкт-Петербурга. Результаты оценки могут быть использованы руководством административно-территориального образования в целях принятия своевременных управленческих решений по улучшению социально-экономической ситуации и корректировки планов и программ СЭР.

Библиографические ссылки

1. Об утверждении Перечня стандартов проживания в Санкт-Петербурге : Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 29 августа 2006 г. № 1051 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gov.spb.ru>.
2. Методика расчета интегрального показателя уровня жизни населения Ленинградской области : Прил. 1 к

Постановлению Правительства Ленинградской области от 22.08.02 № 147 «Об организации мониторинга социально-экономического развития Ленинградской области» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lenobl-invest.ru/documents/lowgub/prilmet.doc>.

3. Методические рекомендации к оценке качества жизни населения Новосибирской области, муниципальных районов и городских округов [Электронный ресурс]. URL: http://www.adm.nso.ru/glaveu/tex/met_ocenka.html.

4. Индикаторы оценки реализации комплексной программы социально-экономического развития Междуреченского городского округа на период 2007–2016 гг. : Прил. 2 к распоряжению Администрации Кемеровской области от 25.06.2003 г. № 678-р [Электронный ресурс]. URL: http://www.mrech.ru/?f=doc7&f_sub=doc/7.pri12&cl=.

5. Система показателей и индикаторов социально-экономического развития городских округов и муниципальных районов Тамбовской области [Электронный ресурс]. URL: <http://www2.tambov.gov.ru/47.html>.

6. Качество жизни // Япония от А до Я : энцикл. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.japantoday.ru/japanaz/k60.shtml>.

7. Quality of Life in Canada [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cprn.org> ; www.statcan.ca.

8. О мерах по организации деятельности исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга в сфере государственного планирования социально-экономического развития Санкт-Петербурга : Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 25 декабря 2007 г. № 1659 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gov.spb.ru>.

Таблица 2

Анализ доступности для населения Кировского района медицинских услуг

Варианты ответа на вопрос, достаточно ли у Вас денежных средств для того, чтобы:	Достаточно		Не совсем		Недостаточно		Итого: получено ответов, ед.
	чел.	в % к итогу	чел.	в % к итогу	чел.	в % к итогу	
Приобретать лекарства	15	30,0	25	50,0	10	20,0	50
Получать консультационные медицинские услуги и лечение у необходимого специалиста	3	6,5	11	23,9	32	69,6	46
Проходить нужные обследования	12	24,0	16	32,0	22	44,0	50
Лечиться в платных медицинских клиниках	1	2,0	4	7,8	46	90,2	51
Укреплять здоровье (отдыхать в домах отдыха, заниматься в спортклубе, посещать бассейн и пр.)	3	5,8	8	15,4	41	78,8	52
Всего	34	13,7	64	25,7	151	60,6	249

М. А. Timofeeva

A COMPLEX SYSTEM OF LIFE QUALITY ESTIMATION OF THE ADMINISTRATIVE-TERRITORIAL FORMATIONS AT VARIOUS LEVELS

The questions of administrative-territorial formations social and economic development (SED) estimations have been studied. The experience of techniques used for the SED-analysis and analysis of quality/standard of living of the Russian Federation population are generalized in this article. The necessity for the creating of new appraisal plans is indicated. The complex estimating techniques of the SED and of the life quality is offered (including objective and subjective indicators and the possibility of their use).

Keywords: social and economic development, quality of life, estimating techniques.

© Тимофеева М. А., 2010

Т. В. Полозова, И. А. Колесняк, А. А. Колесняк

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПТОВЫХ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ РЫНКОВ РЕГИОНА

Предложена структура управления и инфраструктура регионального оптового продовольственного рынка, схема движения продукции сельского хозяйства и продовольственных товаров до конечного потребителя. Определено место оптового рынка в системе продовольственного обеспечения.

Ключевые слова: продовольственное обеспечение, оптовый продовольственный рынок, система.

Организация товародвижения играет существенную роль в системе продовольственного обеспечения населения любого региона. Продовольственное обеспечение населения региона страны определяется, в первую очередь, состоянием продуктопроизводящих и обслуживающих отраслей. С каждым годом снижается доля сельхозтоваропроизводителя в цене продукции сельского хозяйства (15–18 %), значительная часть приходится на переработчиков, торговлю и перекупщиков. В 1990 г. коммерческие структуры и структуры теневого капитала занимали в цене конечного товара 0,5 % затрат, а в настоящий период занимают 25–28 %. Организующим звеном системы продвижения ресурсов продовольствия из сферы их производства в сферу конечного потребления, обеспечивающим повышение доли товаропроизводителей в конечной цене продукции сельского хозяйства, является оптовый продовольственный рынок.

Понятие «оптовый продовольственный рынок» трактуется в научной литературе по-разному. По мнению С. У. Нуралиева и Л. Н. Усенко, оптовый продовольственный рынок – это управляемая и регулируемая система товаропродвижения с соответствующей инфраструктурой [1, с. 9–10; 2]. В нашем представлении понятие оптового продовольственного рынка двойственное: во-первых, это одна из структур механизма концентрации и продвижения крупных партий товаров от производителей к потребителям, во-вторых, это организационная форма, решающая определенные задачи и выполняющая соответствующие функции в подсистемах формирования и распределения ресурсов продовольствия. Главное преимущество такой формы организации в системе товародвижения в том, что она, во-первых, настроена на интересы конечного потребителя, во-вторых, ориентирует товаропроизводителя на требования рынка, в-третьих, способствует поступлению средств в местный бюджет за счет ликвидации теневых структур торговли, создает предпосылки снижения розничной цены при одновременном росте прибыли товаропроизводителя.

Организация оптовых рынков позволяет снизить розничные цены в торговой сети в среднем на 10–20 % [3, с. 61]. Через региональные оптовые рынки возможно эффективно влиять на ценообразование конкретных видов продовольственных товаров и стимулирование их производства. При наличии в регионе оптовых продовольственных рынков товаропроизводитель может выбрать различные варианты сбыта: 1) самостоятельно реализовать свой товар на оптовом рынке; 2) сдать товар оптовику для оптовой реализации; 3) отправить товар непосредственно в магазин.

Высокоорганизованные оптовые рынки облегчают работу служб санитарного надзора, торгинспекций, предотвращают поступление недоброкачественной продукции в торговую сеть, обеспечивают стабильность в продовольственном снабжении, защищают товаропроизводителя и переработчика. Значительно упрощаются взаиморасчеты между участниками торгов. Аккредитация банка на оптовом рынке обеспечивает расчеты между покупателями и продавцами.

В настоящее время в Бурятии нет организованной системы оптовых продовольственных рынков, хотя создается и действует сеть оптовых центров, где индивидуальные предприниматели реализуют свои интересы или интересы фирм, которые они представляют. Сельскохозяйственные товаропроизводители и система потребительской кооперации республики пока находятся вне сферы организованного оптового продовольственного рынка. Вопросы сбыта местных продовольственных товаров и создания оптовых каналов их движения к потребителю в настоящее время не решены.

Оптовый продовольственный рынок должен по праву занять в системе продовольственного обеспечения населения Бурятии свое место (рис. 1).

Укрупнение экономических районов и создание федеральных округов открывает возможность централизованной организации и реализации на практике этой важной и неотложной работы. Формирование территориально более широких рынков позволяет учесть потребности населения регионов, входящих в округ, предопределяет уточнение размещения и специализации сельскохозяйственного производства, создание товарных продуктовых зон и центров формирования, распределения и сбыта продукции для повышения уровня продовольственного обеспечения округов.

Управление системой оптовых продовольственных рынков должно осуществляться государством. Координирующим органом управления оптовыми рынками в Республике Бурятия становится министерство сельского хозяйства и продовольствия.

Основными задачами государственных органов управления в связи с упорядочением формирования и распределения фондов продовольствия становятся следующие [4, с. 21–22]: создание системы оптовых продовольственных рынков и координация их деятельности; организация, обеспечение и регулирование механизма финансовых отношений в системе оптовых продовольственных рынков; развитие материально-технической базы доработки, хранения и сбыта продукции; организация движения товаропотоков в системе оптовых продоволь-

ственных рынков; организация подготовки кадров для работы в системе оптовых продовольственных рынков; оказание содействия в правовой, экономической и иной деятельности участников системы оптовых продовольственных рынков, их информационное обслуживание.

Нами предложена возможная структура управления республиканским оптовым продовольственным рынком (рис. 2).

Работа оптовых продовольственных рынков обеспечивается специализированными структурами, образующими его инфраструктуру [5, с. 169] (рис. 3).

Включение в активную работу по закупке, поставке и реализации товаров организаций агропромышленного комплекса (АПК) и потребительской кооперации на основе объединения средств заинтересованных организаций при соответствующей помощи местных органов, позволит увеличить объемы закупок сельскохозяйственной продукции для формирования продовольственных фондов республики.

Улучшение ситуации на продовольственном рынке не обязательно жестко связывать со значительным увеличением вложений, поскольку главным тормозом стабилизации аграрного производства является его убыточность, обусловленная в том числе и диспаритетом закупочных и розничных цен, резервом сокращения которого может стать именно перестройка системы экономических отношений между сельхозтоваропроизводителями и отраслями переработки, хранения и реализации продуктов.

Предлагаемая схема движения сельскохозяйственной продукции и продовольственных товаров в системе основных продовольственных рынков представлена на рис. 4.

Экономическая основа деятельности оптового продовольственного рынка (ОПР) предопределяется его организационно-правовой формой, от которой зависят и принципы формирования начального капитала, и результаты его хозяйственной деятельности. В случае его создания как государственного предприятия уставный капитал формируется исключительно за счет государственного бюджета и имущества соответствующих органов.

Оптовый рынок может быть организован как на прибыльной, так и на бесприбыльной основе. С точки зрения экономической стратегии и назначения ОПР, который не является собственником продукции, деятельность его организуется на бесприбыльной основе. В этом случае его доходы должны обеспечивать расходы на заработную плату персонала рынка, предоставляемые рыночные услуги, поддержание и развитие его материально-технической базы [6]. Все они должны закладываться в тарифы.

Затраты оптового рынка обеспечиваются доходами за счет арендной платы за предоставление помещений продавцам и покупателям, платы за оказание услуг, членских взносов участников рынка, поступлений от сертификации качества продукции.

Учитывая ограниченность средств на капитальные вложения, оптовые продовольственные рынки в республике должны создаваться на основе существующих предприятий оптовой торговли, плодоовощных баз, распределительных холодильников, материально-техническое оснащение которых наиболее близко к потребностям оптовых рынков, с привлечением бюджетов территорий.

Механизм экономических отношений субъектов оптовых продовольственных рынков может быть разным:



Рис. 1. Республиканский оптовый продовольственный рынок в системе продовольственного обеспечения

от координации ценовой политики до более сложных отношений, включающих различные формы фьючерсных договоров, селенговых операций, использование венчурного капитала внешних инвесторов и отдельных частных крупных предпринимателей [4, с. 172].

В первом случае оптовый продовольственный рынок обеспечивает товаропроизводителям свободную реализацию сельскохозяйственной продукции и продовольствия без заключения каких-либо контрактов с потребителями

этой продукции под гарантию оптового рынка. В данном случае идет свободное ценообразование на основании возникшего спроса и предложения в момент реализации продукции. Функции рынка сводятся к организации сферы обслуживания (предоставление информации о ситуации на рынке, хранение продукции, оказание услуг по реализации и доставке продукции, ее сертификации и т. д.).

Следовательно, задача ОПР на данном этапе заключается в создании условий функционирования конкурент-

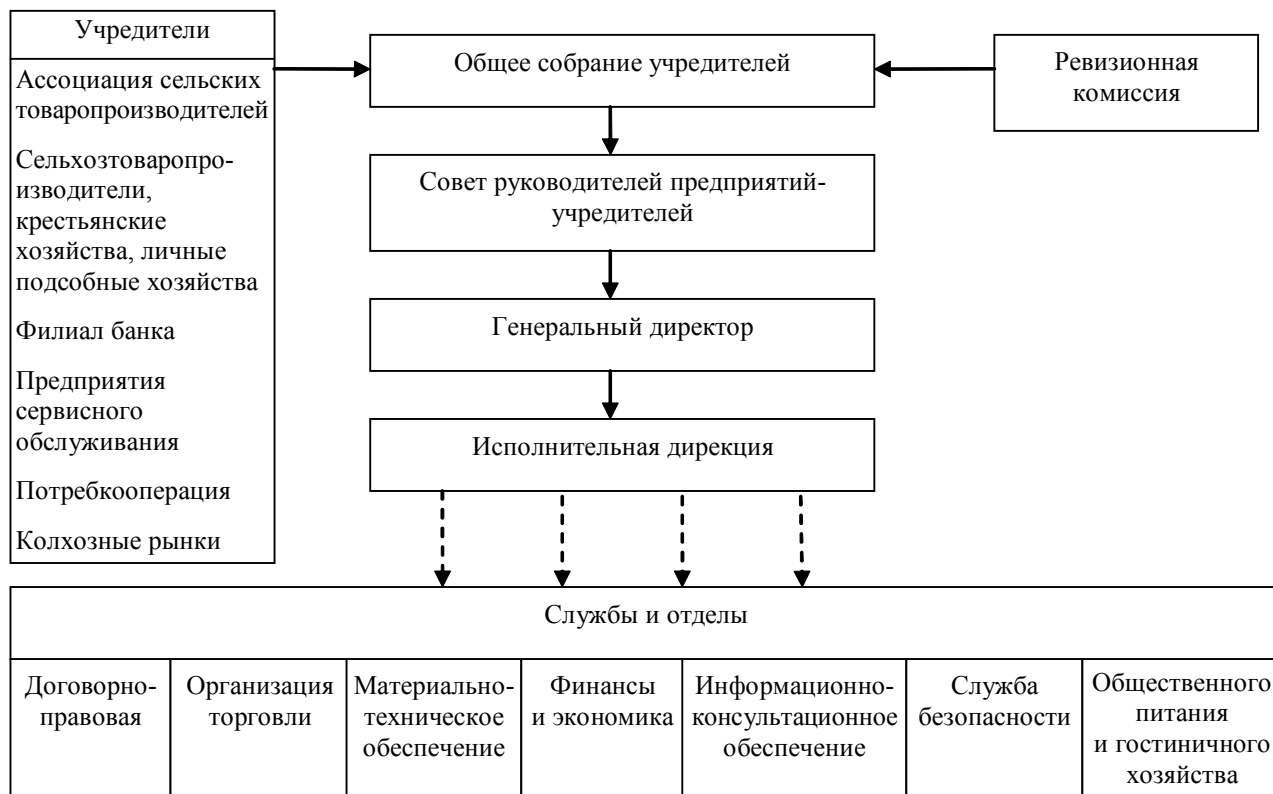


Рис. 2. Структура управления республиканского оптового продовольственного рынка

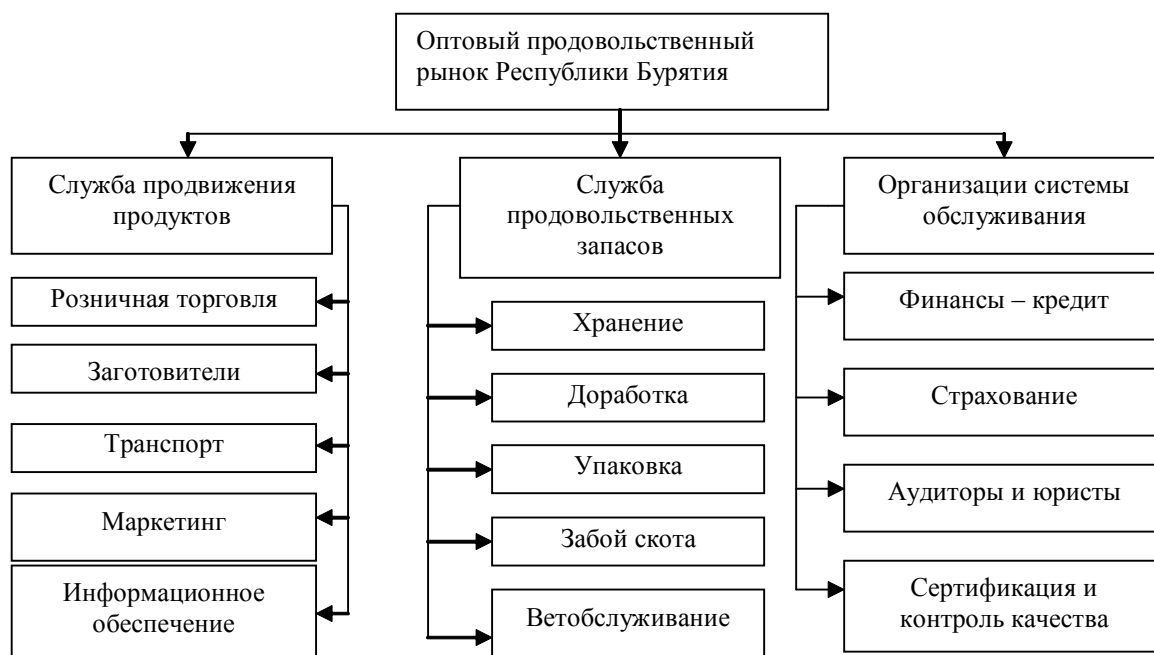


Рис. 3. Инфраструктура регионального оптового продовольственного рынка Республики Бурятия

ного рынка, который включает нерегулируемое предложение (свобода в производстве) и нерегулируемую цену, уравнивающую спрос и предложение, что возможно на всех видах оптовых продовольственных рынков республики. Сама по себе автоматически цена не создает равновесия спроса и предложения, но тенденции ее уровня предупреждают о его нарушении. Движение цен сейчас объясняется степенью монополизации (действием отдельных крупных оптовых центров), а не равновесием предложения и спроса на продукцию внутри региона. В настоящее время на рынке продовольствия в республике установилось превышение предложения продукции над потребительским спросом, обусловленное низким оплачиваемым спросом, ростом по этой причине уровня продовольственного самообеспечения населения республики.

Правительство республики использует меры, направленные на увеличение экспорта продовольствия как своей, так и транзитной, т. е. ввозимой (в случае повышения цен экспорта), продукции.

По мере укрепления своих позиций оптовый рынок республики может расширить сферу и формы отношений. Например, проводить селенговые операции, когда сельхозтоваропроизводители в силу разных причин (уда-

ленность, занятость, некомпетентность) передают права распоряжения своей продукцией рынку за определенную плату на основе договора коммерческой концессии. Селенговая деятельность выгодна для обеих сторон: производителя и оптовика. Для рынка это источник инвестирования, а для собственника – выгодное размещение продукции, поскольку продукция может быть продана дороже и быстрее, а при необходимости может получить дополнительно доработку и упаковку.

Оптовые продовольственные рынки могут для стабилизации рынка сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия использовать закупочные и товарные интервенции. Решение вопросов объемов закупочных и товарных интервенций, уровня цен на закупаемую и реализуемую сельскохозяйственную продукцию, сырье и продовольствие является прерогативой правительства Республики Бурятия.

Органы исполнительной власти Республики Бурятия устанавливают нормы деятельности государственных агентов по регулированию оптового республиканского рынка на территории республики.

Создание республиканского оптового продовольственного рынка обеспечит товаропроизводителям организованный сбыт продукции, повысит их долю в конечной цене потреби-

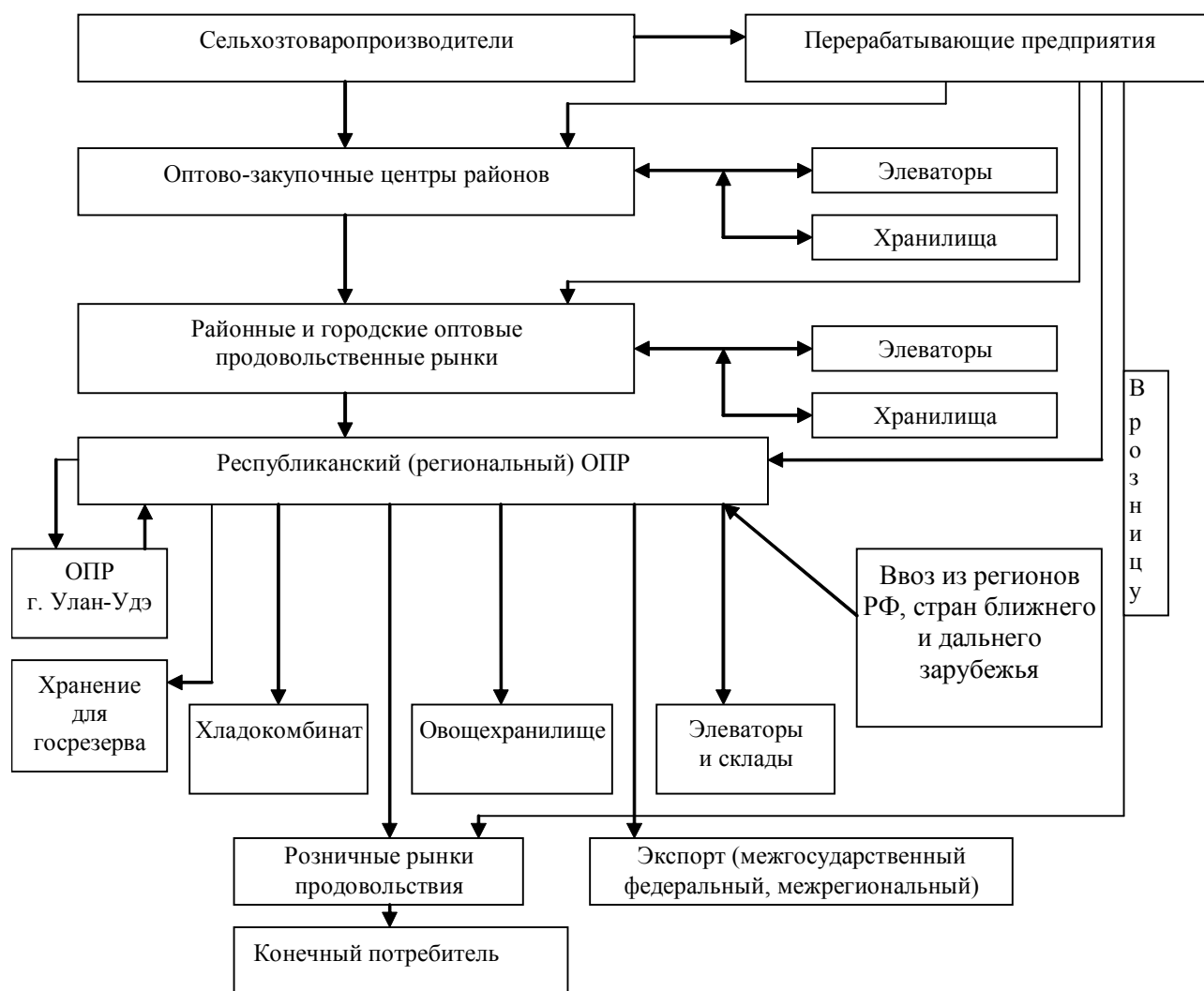


Рис. 4. Схема движения сельскохозяйственной продукции и продовольственных товаров в системе оптовых продовольственных рынков Республики Бурятия

тельского товара, будет способствовать росту объема производства и повышению качества продукции, наполнению рынков товарами местного производства, улучшению социально-экономической ситуации в АПК республики.

В целях стимулирования участия местных сельхозтоваропроизводителей в поставках продукции для государственных нужд Министерство экономического развития и внешних связей республики предлагает: 1) предусмотреть введение повышающего коэффициента (до 40 %) к дотациям на сельхозпродукцию организаций, победивших в конкурсах на поставку ее для государственных нужд; 2) создать продовольственный фонд Республики Бурятия как резерв для расходов, во-первых, для стабилизации (через закупку и продажу продукции) цен на продовольственном рынке, во-вторых, для оплаты поставок сельскохозяйственной продукции. Создание такого продовольственного фонда позволит закупать продукцию для республиканских государственных и муниципальных нужд и регулировать цены на рынке продовольствия.

Появляется также возможность проводить объединенные конкурсы на закупку сельхозпродукции для нужд социальной сферы республики.

Формирование продовольственного фонда предполагается осуществлять на конкурсной основе среди поставщиков сельскохозяйственной продукции за счет выделяемых муниципальными образованиями квот.

Республика Бурятия находится в зоне интересов Азиатско-Тихоокеанского экономического сообщества, обладающего реальным финансовым капиталом, технологическими возможностями, инвестиционными намерениями, продовольственными товарами, импорт которых необходим в силу географического расположения региона. В свою очередь Бурятия будет иметь возможность выхода на международный рынок продовольственных товаров соответствующего стандарта.

Вместе с тем открываются качественно новые возможности создания межгосударственных территорий с особым финансово-экономическим режимом. В этом случае повышается заинтересованность транснациональных компаний в объединении на локальной территории финансовых, технологических и рыночных возможностей разных стран; реализуется заинтересованность стран-участников в объединении для совмещения в своих целях импортозамещающей и экспортно ориентированной политики.

Для практической реализации данного подхода необходимо разработать на уровне Российской Федерации и республики порядок и нормативно-правовые акты, регламентирующие взаимоотношения участников ОПР.

Формирование и функционирование межгосударственных оптовых продовольственных рынков основывается на принципе единых в его рамках условий для стран-участников финансовой и налоговой политики, валютных операций, таможенных правил, использования и охраны природных ресурсов, внутренней инфраструктуры и системы управления, а также межгосударственной координации привлечения финансовых, технологических, природных и трудовых ресурсов стран-участников. Условием их развития служат для отечественных и зарубежных инвесторов государственные гарантии Российской Федерации, Бурятии и других стран-участников, а также система налоговых льгот и стимулов.

Учредителями таких оптовых рынков могут быть транснациональные компании, мэрии городов, крупные фирмы отдельных стран, правительственные органы, национальные банки, оптовые рынки, ассоциации и корпорации.

Таким образом, создание системы оптовых продовольственных рынков позволит сформировать в регионе эффективную систему распределения сельскохозяйственной продукции и продовольствия, обеспечит доступ сельских товаропроизводителей на конкурентные рынки и повысит их долю в конечной цене потребительского товара до 60–70 %, снизит потери продукции от поля (фермы) до потребителя и расходы в системе распределения продуктов питания.

Библиографические ссылки

1. Нуралиев С. У. Создание системы оптовых продовольственных рынков в России и перспективы их развития // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2003. № 7. С. 16–18.
2. Усенко Л. Н. Теория и практика продовольственного рынка : научн.-практ. пособие / Рост. гос. экон. акад. Ростов н/Д., 1998.
3. Нуралиев С. У. Организация и развитие системы оптовых продовольственных рынков в России. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2002.
4. Колесняк А. А., Нехланова С. А., Колесняк Д. А. Концепция развития системы оптовых продовольственных рынков Республики Бурятия. Улан-Удэ : Изд-во БГСХА, 2002.
5. Колесняк А. А. Продовольственное обеспечение: региональный аспект : моногр. М. : Восход-А. 2007.
6. Рекомендации по созданию оптовых продовольственных рынков : утв. приказом М-ва сел. хоз-ва и продовольствия РФ № 66 от 5 апреля 1994. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

T. V. Polozova, I. A. Kolesnyak, A. A. Kolesnyak

FORMATION OF WHOLESALE FOOD REGIONAL MARKET SYSTEMS

We offer a management structure and an infrastructure of regional wholesale food market; as well as a scheme of agricultural products and foodstuff movements to end-consumers. We have also defined the place of wholesale markets in the system of food supplying.

Keywords: food supply, wholesale food market, system.

© Полозова Т. В., Колесняк И. А., Колесняк А. А., 2010

А. В. Трачук

СОСТОЯНИЕ КОНКУРЕНТНЫХ ОТНОШЕНИЙ В РЕФОРМИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ

Одной из основных целей реформирования электроэнергетики было создание конкурентных условий в сегментах генерации и сбыта электроэнергии. Проанализирован уровень конкуренции, сложившийся в настоящее время на оптовом рынке электроэнергии и мощности в Российской Федерации. В качестве инструмента оценки уровня конкуренции использован индекс Херфиндаля–Хиршмана, рассчитанный для поставщиков и покупателей во всех зонах свободного перетока оптового рынка электроэнергии и мощности России. Дополнительно исследован учет влияния на конкуренцию активов, принадлежащих государству. Проведенный анализ показал, что сформировалась скоординированная олигополия в условиях неготовности системы государственного регулирования, ориентировавшейся в течение длительного времени на регулирование монополии.

Ключевые слова: конкуренция, электроэнергетика, генерирующие компании, потребители, рынок электроэнергии и мощности, рыночная доля, олигополия, государственное регулирование.

К числу основных задач реформирования электроэнергетики, сформулированных в частности, в Постановлении Правительства РФ № 526 от 11.07.2001 г., были отнесены следующие:

– демополизация и развитие конкуренции в сфере производства, сбыта и оказания услуг (ремонт, наладка, проектирование и т. д.);

– создание конкурентных рынков электроэнергии во всех регионах России, в которых организация таких рынков технически возможна.

Достичь этих результатов предполагалось путем реструктуризации энергокомпаний по видам деятельности, приватизации конкурентного сегмента электроэнергетики (генерация и сбыт), а также путем существенной либерализации деятельности созданных в процессе реформирования энергокомпаний. Как предполагалось, создание конкурентных отношений сможет оказать позитивное влияние на ценообразование и сформировать сигналы для развития отрасли.

Попробуем оценить состояние дел и последствия такого реформирования. Начнем с оценки реальной конкуренции на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ).

Опуская детальный анализ, лишь отметим, что для покрытия потребления необходима загрузка большинства мощностей, а в отдельных (дефицитных) регионах существуют электростанции, которые загружаются всегда (в терминах Федерального закона «Об электроэнергетике» такие компании называются «обладающими исключительным положением»).

С учетом сделанного выше замечания отметим ряд условий:

Во-первых, такие электростанции, равно как и включенные в соответствии с отбором системного оператора для обеспечения электрических режимов сети, выставляют ценопринимательские заявки, т. е. обязуются поставить электроэнергию по любой цене.

Во-вторых, кривая спроса на рынке на сутки вперед (РСВ) – основной торговой площадке оптового рынка электроэнергии – эластична по цене только на очень небольшом участке (часто менее 1 % от торгуемых объемов).

Таким образом, можно констатировать, что малоэластичная кривая спроса и близкая к дефициту мощностей ситуация, требующая загрузки большинства станций, при-

водят к тому, что равновесная рыночная цена формируется, по сути, исходя только из ценовых заявок генераторов. Именно поэтому эксперты часто называют российский электроэнергетический РСВ рынком генераторов [1, с. 6].

Такая ситуация обусловлена рядом факторов, в частности, субъектной структурой рынка.

Основные продажи приходятся на крупнейшие компании – ОГК, ТГК, РусГидро, концерн «Энергоатом», на крупных исторически независимых от РАО «ЕЭС России» поставщиков.

Несмотря на то, что при реализации долей РАО «ЕЭС России» и проведении дополнительных эмиссий акций в пользу стратегического инвестора учитывались требования антимонопольной политики, фактически сегодня некоторыми инвесторами контролируется сразу несколько крупных активов. К таким группам можно отнести контролируемую часть сибирских тепловых генерирующих компаний (ТГК) – Сибирскую угольную энергетическую компанию (СУЭК), КЭС-Холдинг (ряд ТГК в зоне Европа–Урал) и Газпром (несколько ОГК и ТГК, в том числе крупнейшая тепловая генерирующая компания «Мосэнерго»).

Как известно, с учетом сетевых ограничений на рынке системным оператором определены две ценовые зоны (Европа–Урал и Сибирь), которые, в свою очередь, разделены на зоны свободного перетока (ЗСП), где влияние сетевых ограничений еще ниже, а ценообразование на рынке построено на основе зональных (узловых) цен. Узловое ценообразование используется, например, на рынке северо-востока США – PJM (www.pjm.com).

При этом конкуренцию в целом по рынку или по ценовым зонам можно оценивать путем теоретико-множественного объединения результатов по ЗСП (объемы в рамках ценовой зоны являются совокупностью объемов в отдельных ЗСП).

Учитывая все изложенное выше, нами использована следующая методология оценки уровня конкуренции в зонах свободного перетока ОРЭМ:

– в каждой ЗСП рассчитаны доли представленных в данной зоне мощностей, принадлежащих конкретной финансово-промышленной группе, в общем по зоне объеме мощностей, на основе долей поставщиков для всех ЗСП рассчитаны индексы Херфиндаля–Хиршмана (сум-

ма квадратов рыночных долей участников рынка) [2];

– с учетом наличия большого количества подконтрольных государству собственников мощностей нами дополнительно рассчитаны индексы Херфиндала–Хиршмана (ИHN) на основе долей генераторов с объединением в одну группу всех подконтрольных государству активов;

– для каждой ЗСП определено, есть ли в ней участники, обладающие исключительным положением (наличие таких участников приводит к появлению в данной зоне возможностей злоупотребления монопольной властью), в том числе при объединении подконтрольных государству генераторов.

Участие в аукционе по ЗСП(*i*) генераторов тех ЗСП, из которых есть перетоки в ЗСП(*i*), нами не учтено при расчете ИHN, но принято в расчет при определении исключительного положения (рассмотрен худший сценарий). Учет перетоков при расчете долей приводит к переоценке влияния на рынок генераторов, находящихся в ЗСП, перетоки из которых велики (одна и та же электроэнергия учитывается несколько раз в разных ЗСП).

Продemonстрируем наш подход на примере ЗСП 8 (табл. 1).

Исходя из рассчитанных долей поставщиков, ИHN данной зоны свободного перетока равен $(14,8\%)^2 + (14,1\%)^2 + (28,9\%)^2 + (42,3\%)^2 = 0,304$. При объединении подконтрольных государству поставщиков ОРЭМ (ОГК-1 и ОГК-2) ИHN ЗСП 8 увеличивается: $(14,8\%)^2 + (43\%)^2 + (42,3\%)^2 = 0,385$.

Суммарные перетоки из ЗСП 8 равны 1 143 МВт, т. е. совокупная выработка по зоне в наихудшем случае (при максимально возможных перетоках из ЗСП) равна $11\,359 - 1\,143 = 10\,216$ МВт. Пиковый спрос по ЗСП равен 9 967 МВт. Таким образом, в пик не загружается только 249 МВт – неостребованная мощность. Мощность любого участника значительно превышает объем неостребованной мощности. Следовательно, каждый участник в зоне в наихудшем случае (при пиковом потреблении и максимальных перетоках из зоны) обладает исключительным положением.

Для данной зоны свободного перетока максимальные «входящие перетоки» равны 1 790 МВт. Таким образом, в наилучшем по перетокам случае (все перетоки направлены в зону) неостребованная мощность равна $11\,359 + 1\,790 - 9\,967 = 3\,182$ МВт. То есть даже в оптимальном по перетокам случае ОГК-4 и ОГК-2 обладают исключительным положением.

Мы считаем оценку исключительности положения поставщиков ОРЭМ в ЗСП в наилучшем случае недостаточно показательной (нас интересует наличие в зоне участников, обладающих значительной рыночной силой, хотя бы в некоторых случаях), поэтому для остальных зон свободного перетока мы ее не проводили, однако отметим, что в большинстве ЗСП в лучшем по перетокам случае есть находящиеся в исключительном положении участники.

Как известно, рынок считается высоконцентрированным при значении ИHN выше 18 % [3]. Как следует из расчетов по вышеупомянутой методике, все ЗСП отличаются высокой концентрацией, кроме ЗСП 7 (энергосистема Урала за исключением Тюменской, Кировской и Удмуртской энергосистем и ряда энергорайонов), также средний уровень рыночной концентрации показывает индекс Херфиндала–Хиршмана ценовой зоны Европа–Урал. Более того, в 20 из 28 ЗСП число рыночных игроков не превышает 3, а в этом случае теоретическая нижняя граница значения ИHN равна 33,3 %, т. е. рыночная концентрация таких олигопольных рынков заведомо велика.

Иногда указывают, что ИHN не вполне подходит для анализа рынка электроэнергии, поскольку не учитывает практическое отсутствие эластичности спроса, практически полную зависимость действий одних поставщиков от других (конкуренция не по модели Курно), наличие долгосрочных обязательств и форвардных контрактов и трудности в определении границ рынка [4]. Важно отметить, что два первых фактора в общем случае увеличивают рыночную силу и, следовательно, даже показатель ИHN менее 18 % может не гарантировать отсутствие рыночной силы у поставщика. Применение же форвардных контрактов к настоящему моменту не получило распространения, а границы рынка были выбраны как ЗСП. С учетом этих обстоятельств, полагаем корректным использование ИHN для оценки рыночной силы поставщиков оптового рынка.

При объединении в одну группу всех подконтрольных государству владельцев генерирующих мощностей, ИHN даже в целом по ценовым зонам показывает высокую рыночную концентрацию.

Наличие у многих поставщиков ОРЭМ существенной рыночной силы является дополнительным инструментом оптимизации (по ряду критериев) деятельности генерирующих компаний. Оптимизация осуществляется с помощью

Для поставщиков в ЗСП 8

Таблица 1

Электростанция	Компания	Хозяин компании	Располагаемая мощность, МВт	Доля в ЗСП, %
Тюменская ТЭЦ-1	ТГК-10	Fortum (Финляндия)	472	4,2
Тюменская ТЭЦ-22	ТГК-10	Fortum (Финляндия)	755	4
Тобольская ТЭЦ	ТГК-10	Fortum (Финляндия)	452	6,6
Всего по ТГК-10			1 679	14,8
Нижевартовская ГРЭС	ОГК-1	ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «РусГидро»	1 600	14,1
Сургутская ГРЭС-1	ОГК-2	ОАО «Газпром»	3 280	28,9
Всего по госгруппе			4 880	43
Сургутская ГРЭС-2	ОГК-4	Е-On (Германия)	4 800	42,3
Всего по ЗСП			11 359	100

используемых генераторами различных рыночных стратегий, включая и манипулирование рынком. Например, путем физического изъятия мощностей (выведение оборудования в ремонт), экономического изъятия мощностей (подача заведомо завышенных ценовых заявок) или подачей высоких ценовых заявок в условиях исключительного положения и др.

Таким образом, очевидно, что к настоящему моменту сложилась структура рынка типа олигополии, и у поставщиков этого рынка существуют инструменты для манипулирования им.

Мы исследовали причины низкой конкуренции и доминирования на энергорынке поставщиков, однако, следует подчеркнуть, что уровень конкуренции среди поставщиков существенно выше, чем среди покупателей.

Очевидно отсутствие конкуренции в секторе регулируемых договоров (тариф определяется регулирующими органами, контрагенты – администратором рынка).

Но и в других сегментах ситуация далека от конкуренции. Порядка 50 % от общего количества покупателей ОРЭМ составляют гарантирующие поставщики (ГП) (при этом по объему их доля может достигать 80 %), около 15 % – крупные конечные потребители, остальные 35 % – энергосбытовые компании, не получившие статус ГП [5].

С учетом того, что гарантирующие поставщики обязаны подавать в РСВ ценопринимающие заявки, конкур-

рентный объем рынка резко уменьшается.

Уровень рыночной концентрации, оцененный по тем же правилам, что и уровень концентрации генерирующих компаний, не позволяет сказать, что достигнута конкурентная ситуация в какой-либо ЗСП.

Еще одним следствием реформирования является возникновение нового типа участников рынка, а именно финансово-промышленные группы, контролирующие и поставщиков, и покупателей оптового рынка. Подобное совмещение дает этим своеобразным конгломератам дополнительные преимущества в конкурентной борьбе:

- возможность оптимального распределения маржи по внутрихолдинговым сделкам и применения трансфертного ценообразования;

- использование данных возможностей для оптимизации налогообложения;

- географический разрез (представление в нескольких зонах свободного перетока позволяет перебрасывать объемы между зонами с целью оптимизации финансового результата).

С другой стороны, такое объединение позволяет использовать новые стратегии для манипулирования рынком.

Показатели рыночной концентрации ЗСП во всех разрезах (поставщики, покупатели, холдинги) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели рыночной концентрации зон свободного перетока сразу во всех разрезах (поставщики, покупатели, холдинги)

Зона	Без объединения госкомпаний				С объединением госкомпаний			
	Холдинги	Потребители	Генерация	Генерация без ГЭС/АЭС	Холдинги	Потребители	Генерация	Генерация без ГЭС/АЭС
1-я ЦЗ	0,106	0,112	0,132	0,162	0,252	0,166	0,378	0,236
2-я ЦЗ	0,195	0,226	0,191	0,181	0,216	0,24	0,215	0,186
ЗСП 1	0,259	0,295	0,244	0,2	0,276	0,3	0,275	0,208
ЗСП 2	0,262	0,214	0,576	0,576	0,262	0,214	0,576	0,576
ЗСП 3	0,788	0,621	1	1	0,788	0,621	1	1
ЗСП 4	0,351	0,601	0,6	0,6	0,351	0,601	0,6	0,6
ЗСП 5	0,727	0,755	1	1	0,727	0,755	1	1
ЗСП 6	0,282	0,54	0,487	0,487	0,282	0,54	0,487	0,487
ЗСП 7	0,152	0,296	0,178	0,188	0,193	0,303	0,255	0,247
ЗСП 8	0,352	0,637	0,304	0,304	0,43	0,644	0,385	0,385
ЗСП 9	0,498	0,986	1	1	0,996	0,993	1	1
ЗСП 10	0,308	0,323	0,735	0,735	0,308	0,323	0,735	0,735
ЗСП 11	0,559	0,669	0,536	1	0,566	0,67	0,536	1
ЗСП 12	0,549	0,654	0,533	1	0,551	0,654	0,533	1
ЗСП 13	0,166	0,309	0,355	0,485	0,167	0,309	0,36	0,485
ЗСП 14	0,298	0,331	0,348	0,513	0,298	0,331	0,348	0,513
ЗСП 15	0,232	0,376	0,428	1	0,302	0,378	0,661	1
ЗСП 16	0,3	0,608	0,556	0,99	0,302	0,608	0,556	0,99
ЗСП 17	0,328	0,37	0,593	1	0,337	0,371	0,593	1
ЗСП 18	0,851	0,723	1	1	0,851	0,723	1	1
ЗСП 19	0,185	0,3	0,384	0,621	0,276	0,305	0,652	0,621
ЗСП 20	0,272	0,389	0,624	0,638	0,272	0,389	0,624	0,638
ЗСП 21	0,319	0,649	0,618	1	0,319	0,649	0,618	1
ЗСП 22	0,367	0,466	1	1	0,367	0,466	1	1
ЗСП 23	0,491	0,966	0,973	1	0,491	0,966	0,973	1
ЗСП 24	0,105	0,107	0,204	0,173	0,204	0,148	0,336	0,181
ЗСП 25	0,439	0,745	0,913	0,913	0,439	0,745	0,913	0,913
ЗСП 26	0,755	0,903	0,632	0,632	0,885	0,914	0,861	0,861
ЗСП 27	0,22	0,284	0,494	0,717	0,618	0,381	0,965	0,939
ЗСП 28	0,344	0,774	0,501	1	0,497	0,778	1	1

Наше предположение о превращении монопольного рынка в олигополию полностью подтверждается приведенными цифрами.

Кроме этого факта, следует обратить внимание на появление существенных возможностей у многих участников рынка для злоупотребления рыночной силой путем использования различных манипулятивных стратегий. То есть можно предположить, что произошел переход от монополии к олигополии, причем скоординированной олигополии. Поскольку все участники рынка связаны, им доступна ценовая информация, и у них есть инструменты для оперативной реакции на изменения рыночных условий.

Очевидно, что говорить о возможности отказа от государственного регулирования в этих условиях представляется невозможным. Такой вывод подтверждается и обширным зарубежным опытом реформирования электроэнергетики [6].

С точки зрения государственного регулирования в этих условиях, в первую очередь, должны решаться следующие задачи:

- контроль рыночной концентрации;
- контроль за возможным злоупотреблением рыночной силой;
- тарифное регулирование в той части, где сохраняется государственное регулирование цен.

Безусловно, у государства и сегодня есть инструменты в антимонопольном законодательстве, которые позволяют контролировать слияния и поглощения, а также отчасти следить за манипулированием ценами.

Однако учитывая, что в энергетике такое манипулирование чаще всего связано с техническими проблемами (реальными или умышленными), то, безусловно, Федеральная антимонопольная служба сможет отреагировать лишь на самые вопиющие случаи манипулирова-

ния. Во всяком случае на момент публикации не было известно ни об одном факте выдачи предписания о нарушении антимонопольного законодательства в связи с злоупотреблением рыночной властью на оптовом рынке электроэнергии.

Задача улучшения ситуации с рыночной концентрацией и, как следствие, с конкуренцией представляется куда более сложной, чем контроль за слияниями и поглощениями.

По сути дела, речь идет о необходимости создания механизма формирования такой структуры генерации и топологии сети, которые бы, с одной стороны, обеспечивали необходимую надежность и параметры работы сети, а с другой стороны, имели достаточный потенциал для обеспечения конкурентного отбора поставщиков в каждой из зон свободного перетока.

Библиографические ссылки

1. Розничный рынок электроэнергии: реформа, ценообразование, порядок расчетов, перспектива // ОАО «Калужская сбытовая компания» : сайт. URL: <http://www.ksc.kaluga.ru>.
2. Макконнелл Б. Экономика: принципы, проблемы и политика. М. : Инфра-М, 1999.
3. Маркетинг : словарь / Г. Л. Азоев [и др.]. М. : [б. и], 2000.
4. Стофт С. Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии : пер. с англ. М. : Мир, 2006. С. 486.
5. НП «Совет рынка» : офиц. сайт. URL: <http://www.npsr.ru>.
6. Сапожникова Н. Т., Сауткин С. И. Естественная монополия: опыт реформирования электроэнергетики Великобритании // Менеджмент в России и за рубежом. 2001. № 6.

A. V. Trachuk

COMPETITION STATUS IN THE RUSSIAN POST-REFORM ELECTRIC-POWER INDUSTRY

One of the main purposes of reforming electric power industry was creation of competitive conditions in the segments of electric power generation and sales. The article analyses the level of competition on the Russian current wholesale electric power and capacity market. As a tool for estimation of the level of competition we used Herfindahl-Hirschman Index (HHI) which is calculated for the suppliers and buyers in all the areas of the Russian wholesale electric power and capacity market free crossflow. Additionally we investigated with due regard for the influence on the state-owned assets competition. The analysis performed shows that coordinated oligopoly that was formed in the environment of the unprepared state regulation system that had been monopoly control oriented for a long time.

Keywords: *competition, electric-power industry, generating companies, consumers, the electric power and capacity market, the market share, oligopoly, state regulation.*

© Трачук А. В., 2010

ОСОБЕННОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОЛИГОПОЛИИ

Проанализированы текущие методы государственного регулирования электроэнергетики и определены их основные дефекты; показано, что причины дефектов состоят в сохранении принципов регулирования, применявшихся к отрасли-монополии, несмотря на переход отрасли к олигополистической структуре. Сформулирован тезис о поддержании необходимого уровня конкуренции как основном методе регулирования олигополии. Для естественно-монопольных сегментов предложен переход к наиболее прогрессивным методам тарифообразования, а также путь формирования конкуренции между потребителями за право строительства сетевых объектов.

Ключевые слова: конкуренция, электроэнергетика, рынок электроэнергии и мощности, тариф, олигополия, государственное регулирование, RAB, итерационный метод.

Мировой опыт функционирования дерегулированной электроэнергетики позволяет сделать вывод о необходимости (неизбежности) государственного регулирования этой важнейшей экономикообразующей отрасли.

Значимость электроэнергетики в различных сферах жизнедеятельности определяет структуру целей государственного регулирования.

В сфере безопасности регулирование электроэнергетики направлено на обеспечение бесперебойной поставки электрической энергии в объемах, необходимых для следующих целей:

- для работы предприятий в заданных технологических режимах;
- нормального функционирования жилищно-коммунального хозяйства;
- стабильного исполнения функций государственного управления;
- обеспечения охраны правопорядка и поддержания обороноспособности страны.

В сфере экономического развития цели государственного регулирования электроэнергетики состоят в предоставлении субъектам предпринимательской деятельности возможности покупки электрической энергии в необходимых им количествах и на условиях, позволяющих реализовать эффективную предпринимательскую инициативу, в том числе за счет повышения эффективности использования электроэнергии.

Целями регулирования электроэнергетики для достижения общественно значимых целей в социальной сфере являются обеспечение поставок электроэнергии населению в количестве и на условиях, позволяющих удовлетворить рациональные потребности современного домохозяйства, а также бесперебойное снабжение основных объектов социальной инфраструктуры (больниц, школ, детских садов и т. п.).

С экономической точки зрения важнейшим требованием к государственному регулированию является соблюдение баланса между общественно значимыми целями и интересами субъектов регулируемой отрасли. В современной электроэнергетике России к таким субъектам относятся сбытовые, сетевые и генерирующие компании.

Основным методом достижения баланса интересов сторон в электроэнергетике в настоящее время является определение уровня цен на электроэнергию (мощность):

– приемлемого для потребителей (с учетом возможного дотирования отдельных категорий нуждающихся в этом потребителей);

– обеспечивающего неотрицательную экономическую прибыль компаний отрасли, наличие которой делает отрасль привлекательной для инвесторов и кредиторов.

Тарифообразование призвано обеспечить выполнение данного требования, так как структура тарифов формируется на основе принципов справедливого и эффективного покрытия издержек регулируемой компании за счет платежей потребителей.

В свободной части конкурентных сегментов российского энергорынка цены определяются по результатам конкурентных отборов. В соответствии с общей экономической теорией при достаточном уровне конкуренции такое ценообразование приводит к формированию равновесных цен на уровне предельных издержек производителя, поэтому достижение рыночного равновесия в конкурентных условиях эквивалентно соблюдению баланса интересов покупателей и продавцов.

Указанное свойство конкурентного ценообразования позволяет относить к основным задачам государственного регулирования электроэнергетики России содействие формированию конкурентных отношений в отрасли, определенному в числе наиболее приоритетных целей реформирования. Так, в постановлении Правительства № 526 от 11.07.01 среди принципов реформирования электроэнергетики РФ выделен следующий: «демонополизация и развитие конкуренции в сфере производства, сбыта и оказания услуг».

Напомним базовые формы государственного регулирования [1].

– прямое государственное управление отраслью (государство владеет и управляет отраслью, и входящими в нее предприятиями);

– управление отраслью через государственную корпорацию (некоторая самостоятельность в решениях, акцент на эффективности отрасли);

– госрегулирование и надзор за функционированием отрасли (в электроэнергетике это мониторинг состояния ключевых параметров надежности и безопасности энергосистем и финансово-экономического состояния отрасли, а также законодательные и распорядительные управляющие системой воздействия).

Основными инструментами регулирования являются следующие:

– налоговая политика (создание конкуренции путем поддержки малых и средних предприятий посредством налоговых и кредитных льгот);

– антимонопольная политика (демонополизация монопольных отраслей, регулирование поведения монополий, в том числе борьба с неоправданными конкурентными преимуществами);

– регулирование на уровне правил работы отрасли;

– тарифное регулирование.

Выделим наиболее популярные методы тарифного регулирования монополий:

– «затраты+» (тариф определяется исходя из необходимой валовой выручки (с нормальной прибылью) конкретного предприятия);

– RAB (Regulatory Asset Base – регулируемая база задействованного капитала, определение тарифа исходя из принципа необходимости возврата инвестиций и отдачи на вложенный капитал);

– установление «ценового потолка» (прайс-кэп, установка предельного уровня регулируемых цен); экономический смысл метода зависит от методологии выбора величины прайс-кэп (учет или неучет издержек монополиста);

– yardstick competition (регулирование цен на основе на «косвенной» конкуренции – сравнении затрат компаний одной отрасли, расположенных в разных районах страны и прямо не конкурирующих друг с другом);

– индексация тарифов (тариф определяется применением к ранее определенному тарифу коэффициентов, учитывающих изменение установленного заранее перечня общеэкономических показателей); в настоящее время ФСТ России рассчитывает предельные уровни тарифов на электроэнергию и мощность путем индексации составляющих (цены топлива, различных статей условно-постоянных затрат) тарифов 2007 г.

По мнению многих отраслевых специалистов, в настоящее время на оптовом и розничных рынках электроэнергии (мощности) сложилась олигополистическая структура [2; 3].

Выделим следующие отличия характеристик олигополии от свойств монополии (см. таблицу).

Деятельность представляющих естественно-монопольный сегмент энергорынка системного оператора и

сетевых компаний регулируется, в том числе в части стоимости их услуг, и тарифы полностью определяют их финансовый результат, а для генерирующих компаний значимость тарифов снижается с ростом либерализации – увеличения доли реализуемых по свободным (нерегулируемым) ценам электрической энергии и мощности.

При этом для конкурентных и монопольных сегментов применяется единая методология тарифообразования: тарифы устанавливаются региональными энергетическими комиссиями исходя из определенных ФСТ России предельных уровней, рассчитанных путем индексации составляющих тарифа с учетом фактических значений макропоказателей, независимых от регулирующих органов и регулируемой компании.

В отличие от монополии, с единственным предприятием-отраслью, при олигополии действуют различные по своим характеристикам компании, поэтому индексирование недостаточно учитывает существенные изменения структуры обоснованных издержек конкретного поставщика, на покрытие которых направлено тарифное регулирование.

Метод «затраты+» плохо сочетается с целями построения конкуренции (не создает стимулов к снижению издержек: их сокращение в некотором периоде регулирования приведет к снижению тарифа в следующем периоде) и привлечения инвестиций в отрасль. В России он стал методом «инфляция минус» с установлением тарифов без учета реальных потребностей компаний, а на заданном из макроэкономических соображений уровне [4].

Применение метода «затраты+» к генерирующим компаниям в условиях олигополии осложняется проблемами корректного разнесения затрат и, соответственно, установления тарифов на разные товары (услуги). Особенно остро стоит данная проблема при сочетании регулируемых и нерегулируемых видов деятельности (для ТЭЦ производство электроэнергии в значительной степени либерализовано, а выработка тепла регулируется). В монополизированной отрасли данная проблема решается за счет внутреннего перекрестного субсидирования (между бизнесами внутри вертикально-интегрированных компаний): конкретные величины тарифов не имеют значения, если при этом валовая выручка равна необходимой.

Сравнительная характеристика олигополии и монополии

Отличие	Суть отличия
Входные барьеры	Входные барьеры для входа в отрасль-монополию значительно серьезнее и зависят от сущности монополии: для естественных монополий – это невозможность формирования новой сетевой инфраструктуры без значительных вложений, а значит более высоких цен нового участника рынка на первом этапе работы на рынке, положительный эффект масштаба и иные широко известные причины; для монополий искусственных – как правило, законодательные барьеры в части патентного права или государственного определения компании-отрасли (например, Российская государственная корпорация «Росатом»)
Структура отношений	Для монополии характерно взаимодействие регулируемой компании с регулятором, олигополия подразумевает также ее взаимоотношения с иными субъектами отрасли (прочими олигополистами)
Конкуренция	При монополии конкуренция невозможна, а при олигополистической структуре она может присутствовать, но существенно ограничена из-за возможностей сговора олигополистов и относительно простого определения параметров (объем и цена предложения), устраивающего всех олигополистов рыночного равновесия даже без сговора (в электроэнергетике конкуренция ограничена также из-за ее специфики)

Кроме того, в рамках вертикально-интегрированных компаний решались задачи государственной политики, в том числе перекрестное субсидирование между территориями, отраслями и группами потребителей.

Проблемой текущего тарифообразования является также различие подходов региональных органов регулирования энергетических тарифов к учету затрат при определении тарифа. В частности, в условиях мирового экономического кризиса особенно обострилась проблема учета стоимости заемного капитала при расчете сбытовой надбавки (регуляторы часто ее не учитывают [5]). В сочетании с неплатежами на розничных рынках это может приводить к банкротству сбытовой компании или потере статуса субъекта оптового рынка или статуса гарантирующего поставщика (ГП): в сентябре 2009 г. подобные проблемы возникли у ГП Мурманской области ОАО «Колэнергообит» [6].

Определение обоснованности затрат на покупку топлива осложняется контролем поставщиков топлива над значительной частью генерирующих мощностей – для перераспределения финансовых потоков внутри холдинга топливо может поставляться на нерыночных условиях (например, «сверхлимитный» (по нерегулируемой цене) газ).

В соответствии с текущей нормативно-правовой базой оперативно-диспетчерское управление должно осуществляться, в том числе, в целях экономической оптимизации. На практике диспетчерское управление мало учитывает экономический эффект выбора режима, используя методы, унаследованные со времен монополии, когда загрузка мощностей определялась поддержанием заданного уровня показателей надежности и минимизацией топливной составляющей и платы за пуски. В условиях монополии распределение загрузки по станциям мало влияло на финансовый результат, но после демонполизации компании бывшие части монополии существенно зависят от решений диспетчера, что является дефектом регулирования олигополии монопольными методами.

В настоящее время государство контролирует в электроэнергетике не только компании-монополисты (Федеральная сетевая компания [7] и Системный оператор [8]), но и генерирующие (ОАО «Концерн “Энергоатом”» и ОАО «РусГидро») и сбытовые компании (крупные пакеты ОАО «Мосэнергообит», ОАО «Петербургская сбытовая компания» и т. д.), функционирующие в конкурентных сегментах. При этом интересы государства как регулятора отрасли (в лице Министерства энергетики РФ) и как собственника компании могут отличаться, противореча друг другу. Такое противоречие приводит к дисбалансу управляющих воздействий со стороны государства и дисбалансу ситуации в отрасли. В случае олигополии в противоречие друг с другом вступают еще и интересы различных субъектов рынка, контролируемых государством, поэтому данный эффект при олигополистической структуре отрасли значительно сильнее, чем при монопольной, в связи с чем его усиление при демонполизации отрасли следует отнести к дефектам регулирования олигополии методами, предназначенными для регулирования монополии.

Наличие отмеченных выше дефектов действующей системы государственного регулирования электроэнер-

гетики РФ подтверждает необходимость совершенствования используемых и поиск новых методов регулирования, причем в части регулирования как конкурентных, так естественно-монопольных сегментов электроэнергетики.

Сетевой бизнес относят к естественно-монопольным секторам электроэнергетики, однако, по мнению ряда экспертов, «распределительные компании и магистральные сетевые компании не должны получать эксклюзивные лицензии на деятельность на своих территориях и будут соблюдать ценовую дисциплину под угрозой потенциального (если не реального) прихода конкурентов» (так называемая конкуренция Демшца, конкуренция за франшизу) [9]. Таким образом, принципиален контроль государства за электросетевыми объектами на уровне собственности или нормативное закрепление права государства распоряжаться сетевыми активами, вплоть до отчуждения у неэффективного или злоупотребляющего собственником. При этом правила компенсации собственнику должны быть прозрачными и прописаны до прихода частных инвесторов в этот сегмент отрасли.

В части тарифообразования для сетевых компаний, на наш взгляд, необходима отмена платы за технологическое присоединение, вводившейся как временная мера (до 1 января 2011 г.). Основные недостатки этой составляющей тарифа состоят в следующем:

- необходимость несения субъектом экономики заметных единовременных затрат, что не позволяет развиваться недостаточно состоятельным потребителям (в первую очередь, новым предприятиям, а также субъектам малого предпринимательства);
- непрозрачность формирования величины платы за подключение;
- высокая потенциальная коррупционная составляющая.

Необходим переход к более прогрессивным методам регулирования сетевых компаний, в частности, RAB [10]. Применение в рамках RAB эталонных значений затрат (например, нормы доходности) формирует для сетевых организаций стимул к снижению издержек (сэкономленные средства остаются в компании). Отметим, что при применении RAB необходимо разработать классификацию объектов, вложения в которые будут возвращены с использованием данной методологии. Так, инвестиции в базовые сетевые объекты являются более капиталоемкими и предусматривают более длительный срок окупаемости, нежели в объекты подключения к токоприемникам потребителя. Ожидается более широкое внедрение методики с 2010 г., в том числе для Федеральной сетевой компании.

По нашему мнению, целесообразно создание условий для формирования конкуренции между потребителями за право строить сетевые объекты путем включения в тариф сетевых компаний средств на выкуп созданных потребителями сетей, подстанций, трансформаторов и т. п. При этом необходимо на уровне отраслевого законодательства определить требования, задающие прозрачные критерии проведения сетевыми компаниями конкурсов или иным образом регламентирующие принципы отбора сетевых объектов, подлежащих выкупу у потребителей. Данные требования должны формировать сигнал к реализации эффективных с экономической точки зрения и одновременно востребованных в энергосисте-

ме проектов. Представляется необходимым предусмотреть следующие базовые требования к сетевым объектам, выкупаемым сетевой компанией:

- выход из строя сетевого объекта должен приводить к трудностям в энергоснабжении иных, кроме собственника объекта, потребителей;

- должно быть обосновано отсутствие возможности решения проблемы, снимаемой переходом объекта в собственность сетевой компании, иным менее затратным способом, в том числе более дешевого объекта с той же топологией сети.

При совершенствовании государственного регулирования конкурентных секторов электроэнергетики необходимо учитывать сложившуюся олигополистическую структуру.

Наиболее естественным, вытекающим из природы олигополии методом ее регулирования является поддержание конкуренции на необходимом уровне, поэтому дальнейшее развитие реформированной электроэнергетики России должно быть связано с формированием устойчивой конкуренции на оптовом и розничных энергорынках.

Для обоснованного выбора действий, направленных на повышение конкуренции в отрасли, требуется оценка теоретических пределов конкуренции в электроэнергетике.

В сферах передачи электроэнергии и оперативно-диспетчерского управления конкуренция невозможна (основные причины – необходимость сети/инфраструктуры, высокий положительный эффект масштаба, вопросы надежности и т. п.), поэтому основным подходом к их регулированию остается тарифное регулирование, однако при этом необходимо внедрять прогрессивные методы (RAB, yardstick и т. п.), стимулирующие снижение издержек и прочие экономически полезные действия компаний.

Возведение новых электростанций или объектов сетевого хозяйства влияет на конфигурацию энергосистемы, поэтому наилучшими для системы являются комплексные решения по ее развитию, учитывающие расширение сетей, планы вводов мощностей, прогноз потребления применительно к энергорайонам и т. п. Однако оптимальные решения в этой сфере могут быть приняты только с учетом полной информации, что крайне сложно обеспечить (конкурирующие инвесторы не заинтересованы делиться информацией, прогноз потребления не всегда широко доступен, инвестиционные программы сетевых компаний регулярно пересматриваются и т. д.). Поэтому для оптимизации развития энергосистемы страны более целесообразен централизованный плановый подход: место и характеристики возводимых станций, сетей и крупных энергопотребителей определяются единым уполномоченным органом, иные вводы не допускаются. Но эта система возможна только в условиях планового народного хозяйства, эффективность которого принято считать более низкой по сравнению с эффективностью рыночной экономики.

В максимально рыночных условиях инвестиционные решения принимают сами компании, согласно собственным прогнозам и стратегиям. Но в электроэнергетике это может привести к формированию неэффективной системы, не обеспечивающей надежное энергоснабжение из-за большого объема «запертых» мощностей, сбоев в сетях и т. п.

На наш взгляд, проектирование энергосистемы должно быть предметом государственного регулирования и вестись комплексно (с учетом развития сетей, генерации и промышленного комплекса, а также плановых мер по энергосбережению), но с некоторой свободой (в заданных пределах) принятия инвестором решений.

По нашему мнению, основой государственного регулирования электроэнергетики на методологическом уровне может стать итерационный метод, суть которого состоит в чередовании разнонаправленных по эффекту воздействий на отрасль при условии построения системы обратной связи между регулятором и отраслью, позволяющей регулятору получать достоверную информацию о состоянии регулируемой отрасли и оценивать на практике действенность предпринимаемых мер. Такая система должна «оповещать» регулятора об ухудшении или улучшении состояния регулируемой системы, а также уметь распознавать переход системы через некий пороговый уровень, чтобы регулятор мог соответствующим образом отреагировать: «закрутить гайки», если обстановка в отрасли чрезмерно улучшилась (например, стала значительно лучше, чем в экономике страны в целом), или ослабить давление при проявлении заметных негативных факторов. В силу естественной инерции данные поступают с запаздыванием, кроме того, любая система оповещения имеет некую погрешность, поэтому пороговые значения должны быть достаточно удалены от критических значений, чтобы не привести компании отрасли к повальному банкротству или, напротив, скачкообразному росту инвестиционной привлекательности электроэнергетики, который повлечет распределение инвестиций, далекое от оптимального с точки зрения экономики страны.

Подводя итог, отметим, что основным недостатком текущей системы регулирования российской электроэнергетики является сохранение базовых принципов регулирования, применявшихся к отрасли-монополии.

В силу «природы» олигополии основным методом ее регулирования является поддержание конкуренции не ниже минимально необходимого уровня, и именно на это в ближайшее годы должны быть направлены основные усилия регулятора, при этом развитие конкуренции в такой специфической отрасли, как электроэнергетика, ограничено (в основном, вопросами надежности) даже в потенциально конкурентных секторах.

В естественно-монопольных секторах энергорынка (диспетчеризация, сети) целесообразно внедрение наиболее прогрессивных методов тарифообразования, например RAB-методологии. Также предлагается изучение перспективы построения конкуренции между потребителями за право строить сетевые объекты путем включения в тариф сетевых компаний средств на выкуп объектов, созданных потребителями.

При определении плана инвестиционных проектов в генерации (место строительства, тип и мощность станции, параметры основного генерирующего оборудования и т. п.) следует учитывать сложившуюся сетевую структуру и планы ее расширения.

По нашему мнению, в качестве методологической базы регулирования электроэнергетики целесообразно

использовать итерационный метод, позволяющий на практике проверять действенность определенных мер и отлаживать предназначенные для применения регулирующие механизмы.

Библиографические ссылки

1. Туkenov A. A. Рынок электроэнергии: от монополии к конкуренции. М. : Энергоатомиздат, 2007.
2. Реформа электроэнергетики: критическое осмысление [Электронный ресурс]. URL: <http://www.roman.by/r-78813.html>.
3. Жизнь без РАО // Business&FM. 2008. 1 июля [Электронный ресурс]. URL: <http://www.2kaudit.ru/news.php?id=776>.

4. Милов В. Регуляторные риски в российской электроэнергетике // Риск-менеджмент в электроэнергетике: новые возможности развития : материалы конф. М, 2005.
5. Сбытовые разногласия // РБК daily. 2009. 1 апреля. № 56.
6. Потребителей электроэнергии оставляют без гарантий // Коммерсантъ. 2009. 23 сентября. № 176 (4231).
7. ОАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» : сайт. URL: <http://www.fsk-ees.ru>.
8. ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы» : сайт. URL: <http://www.so-cdu.ru>.
9. Смит В. Экспериментальная экономика. М. : ИРИ-СЭН ; Мысль, 2008. С. 772.
10. Двадцатилетний опыт внедрения RAB-регулирования в электроэнергетике уже доказал его эффективность // Коммерческие вести. 2009. 11 марта.

A. V. Trachuk

OLIGOPOLY STATE REGULATION FEATURES

The article analyses the current methods of electric-power industry state regulation and estimates their major defects; it shows that the cause of the defects is preservation of principles of regulation that had been practiced for the industry-monopoly, though the industry structure was already changed (from monopoly to oligopoly).

The author formulates the thesis of maintaining the necessary level of competition as the basic method of oligopoly regulation. There is a suggestion for natural monopolies segments to transfer to the most progressive tariffs methods and the author proposes the method of competition between the consumers for the right to construct the network projects.

Keywords: competition, electric-power industry, the electric power and capacity market, tariff, oligopoly, state regulation, RAB, iteration (iterative) technique.

© Трачук А. В., 2010

УДК 332.14

Р. Н. Шевелева

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ

Раскрыта сущность разработанной методики оценки и прогнозирования качества жизни населения с учетом региональных особенностей.

Ключевые слова: качество жизни населения, оценка качества жизни, прогнозирование качества жизни.

С конца 1980-х гг. теория и практика устойчивого развития находится в центре внимания ученых и политиков в нашей стране и за рубежом. Начавшаяся в середине 1990-х гг. в России мода на разработку региональных (и даже муниципальных) программ устойчивого развития сохраняется до сих пор. В этих программах целевые установки имеют, как правило, региональную конкретизацию и непосредственно ориентированы на использование имеющихся предпосылок для стабилизации и улучшения социально-экономического положения соответствующих территорий. При этом практические открытым остается вопрос о показателях и критериях региональной устойчивости.

Рассматривая и анализируя различные подходы к оценке устойчивости социально-экономических систем [1–3], мы приходим к выводу, что все предлагаемые ме-

тодики акцентируют внимание на процессе и показателях развития, но не отвечают на вопрос, для чего. Ведь не только для сравнения уровня социально-экономического развития отдельных стран и регионов и составления рейтингов необходима данная оценка. Сегодня главной целью устойчивого развития должно стать высокое качество жизни населения. Значимость проблемы качества жизни в России возрастает в связи с тем, что человеческий ресурс в условиях активно идущих процессов старения и депопуляции населения становится самым дефицитным ресурсом. Последняя версия долгосрочного демографического прогноза ООН показывает, что в перспективе численность населения России будет сокращаться, средний возраст расти, а доля трудоспособного населения уменьшаться [4].

Таким образом, в условиях депопуляции и старения населения особенно актуальной становится проблема обеспечения высокого качества жизни. Достижение и поддержание высокого качества жизни обеспечит улучшение здоровья и увеличение продолжительности жизни населения, повышение образовательного уровня, рост рождаемости и т. д., а это, в свою очередь, будет способствовать улучшению качества трудовых ресурсов, что является необходимым фактором устойчивого развития как отдельных региональных социально-экономических систем, так и государства в целом.

Обращение к проблемам оценки качества жизни необходимо для изучения экономических возможностей стран, а также для анализа перспектив развития человеческого капитала. Эта оценка крайне важна и для определения уровня развития социальной сферы, и для выявления потенциальных возможностей страны и региона. Поэтому актуальным становится формирование новой парадигмы управления – управление качеством жизни. В связи с этим, целесообразно в качестве главного критерия устойчивого развития использовать такой интегральный показатель, как качество жизни населения, так как данный показатель:

- позволяет четко сформулировать цель устойчивого регионального развития;
- является чувствительным индикатором экономических, финансовых, социальных, экологических и других изменений в государстве и регионе;
- дает возможность усилить социальную направленность региональной политики и регионального развития, ставит на первое место социальные цели общества, а не материальные;
- позволяет оценивать эффективность деятельности органов государственного и муниципального управления;
- превращает экономический рост в главный инструмент достижения социальных целей общества.

Рассматривая качество жизни как главную цель и основной показатель устойчивого развития региональных социально-экономических систем, необходимо не только определить показатели его оценки, а также разработать инструменты прогнозирования, так как именно прогнозирование является основой планирования, а следовательно, и улучшения качества жизни.

Анализ зарубежных и отечественных методик оценки качества жизни [5–10] позволил сформулировать следующие выводы:

- зарубежные и отечественные ученые ведут активную работу в сфере разработки методов оценки качества жизни;
- мировое сообщество с каждым годом все больше внимания уделяет качеству жизни населения; достижение и поддержание высокого качества жизни является целью всех развитых стран мира;
- существующие методики значительно отличаются по количеству и составу показателей (количество показателей варьируется от трех до нескольких десятков, а по составу методики включают индикаторы экономической, социальной и физиологической составляющей качества жизни);
- большинство рассмотренных методик оценивают только объективные показатели качества жизни и не учитывают субъективные;

– все рассмотренные методики позволяют оценить лишь отдельные составляющие качества жизни населения и не могут претендовать на универсальность.

Исходя из вышеизложенного, можно говорить о том, что на сегодняшний день не представляется возможным создание унифицированной методики оценки качества жизни применительно к российским регионам в силу разных природно-климатических, культурных, исторических и социально-экономических условий их развития, поэтому целесообразно оценивать качество жизни по показателям, отражающим наиболее существенные факторы жизнедеятельности в данном регионе.

Характеристика экономико-географического положения, природно-климатических условий, природно-ресурсного потенциала, демографического потенциала и структуры населения, структуры и специализации хозяйства, финансовой обеспеченности Красноярского края, а также его типологизация позволили выделить факторы, оказывающие положительное и отрицательное влияние на качество жизни населения (табл. 1).

Для оценки качества жизни необходимо выбрать показатели, которые в наибольшей степени отражают отрицательные факторы жизнедеятельности. Это поможет оценить степень негативного воздействия, его динамику, что, в свою очередь, позволит органам власти выделить приоритетные направления социально-экономической политики в регионе.

Наибольшее отрицательное воздействие на качество жизни населения Красноярского края (табл. 1) оказывают суровые климатические условия, большая протяженность с севера на юг и с запада на восток, высокая индустриализация, близкий к монопрофильному характеру развития экономики. Таким образом, из всего многообразия показателей качества жизни населения необходимо выбрать те, которые наиболее объективно отражают выявленные негативные факторы.

С учетом региональных особенностей и требований, предъявляемых к социально-экономическим индикаторам [11], предлагается оценивать качество жизни населения Красноярского края по четырем основным компонентам: здоровье населения, доступность социальных услуг, уровень жизни, экологическая обстановка, с использованием социально-экономических показателей (табл. 2).

Показатели качества жизни (табл. 2) применяются для расчета обобщенных показателей по каждому компоненту и комплексного показателя методами среднего геометрического и среднего арифметического взвешенного соответственно.

Оценка качества жизни является лишь одним из этапов управления, являющимся основой для нормативного (целевого) прогнозирования. Для эффективного прогнозирования качества жизни населения важнейшим является вопрос выбора метода прогнозирования. Оптимальный метод должен отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать функциональную полноту, достоверность и точность прогноза;
- уменьшать затраты времени и средств на прогнозирование;
- учитывать особенности объекта прогнозирования; главной особенностью качества жизни как объекта про-

гнозирования является зависимость от большого числа факторов (см. табл. 1).

Анализ методов прогнозирования [12–16] позволяет сделать вывод, что в значительной степени этим требованиям удовлетворяет метод DEA (Data Envelopment Analysis).

Метод DEA основан на применении методов линейного программирования для создания непараметрической кусочно-линейной поверхности на базе определенных данных. Этот метод возник как обобщение простых коэффициентов анализа деятельности на многомерный

Таблица 1

Факторы, оказывающие влияние на качество жизни населения Красноярского края

Экономико-географическое положение	
Положительное влияние	Регион расположен на пересечении важнейших транспортных путей, что значительно упрощает возможности перемещения не только внутри страны, но и за ее пределами
Отрицательное влияние	Большая протяженность с севера на юг и с запада на восток создает территориальную проблему доступности медицинских, образовательных и других услуг, особенно для населения периферийных районов края
Природно-климатические условия	
Положительное влияние	На юге края – теплое лето и умеренно суровая малоснежная зима. Сухой чистый воздух, обилие солнечных дней летом, целебные воды источников и многочисленных озер создают благоприятные условия для строительства курортов, санаториев и баз отдыха
Отрицательное влияние	Значительная часть территории края относится к районам Крайнего Севера, неблагоприятным для проживания вследствие экстремальных природно-климатических условий: отрицательное влияние на здоровье людей, отсутствие возможностей для альтернативной занятости и круглогодичного транспортного наземного сообщения, существенные отраслевые разрывы в оплате труда
Ресурсно-сырьевой потенциал	
Положительное влияние	Богатый ресурсно-сырьевой потенциал способен на протяжении обозримого будущего обеспечивать значительное поступление доходов в краевой бюджет, а значит и финансирование расходов, направленных на повышение качества жизни населения
Демографический потенциал и структура населения	
Положительное влияние	Возрастная структура населения более молодая, чем в среднем по стране
Отрицательное влияние	Устойчивая тенденция сокращения численности населения; продолжительность жизни ниже общероссийского показателя; высокая смертность от внешних причин (травмы, самоубийства, алкогольные отравления), болезней системы кровообращения, новообразований; превышение числа умерших над числом родившихся
Структура и специализация хозяйства	
Положительное влияние	Экспортные отрасли экономики края обеспечивают более высокие доходы населения; современный уровень развития экономики, реализация инвестиционных проектов обеспечивают высокую занятость экономически активного населения
Отрицательное влияние	Экономика края близка к монопрофильной («лицо» промышленности края определяет цветная металлургия), это приводит к спросу на традиционно «мужские» специальности, затрудняя трудоустройство женщин; высокие отраслевые и гендерные отличия в оплате труда, характерные для промышленных, экспортно ориентированных регионов; концентрация большей части производства в двух городах (Норильск и Красноярск); экологические проблемы, характерные для большинства промышленных регионов; депрессивное состояние экономики северных территорий

Таблица 2

Компоненты и социально-экономические показатели качества жизни

Компоненты качества жизни населения	Социально-экономические показатели, характеризующие компоненты качества жизни
Здоровье населения	Ожидаемая продолжительность жизни Смертность от неестественных причин Смертность от болезней системы кровообращения Смертность от новообразований
Доступность социальных услуг	Охват дошкольными учреждениями Охват общеобразовательными учреждениями Охват учреждениями начального, среднего и высшего профессионального образования Охват учреждениями здравоохранения Охват учреждениями культурно-досугового типа, библиотеками, музеями, театрами и т. д.
Уровень жизни	Уровень доходов населения Обеспеченность жильем Отраслевые отличия в оплате труда Гендерные отличия в оплате труда
Экологическая обстановка	Состояние водных ресурсов Состояние атмосферного воздуха Состояние почвы

случай, т. е. деятельность сложного объекта описывается набором входных параметров ($x_1, \dots, x_m$) и набором выходных параметров ($y_1, \dots, y_r$). Для корректности и содержательности такой постановки рассматривается множество подобных сложных объектов. Тогда математически такой подход сведется к решению большого семейства оптимизационных задач. Основоположниками данного подхода являются американские ученые А. Чарнес и В. Купер.

В числе основных достоинств метода DEA, дающих основание применять его для прогнозирования качества жизни, можно назвать следующие:

- возможность оценки эффективности и прогнозирования с учетом большого количества входов и выходов, что позволяет избежать необходимости расчета единого результирующего показателя или показателя расходования ресурсов;
- возможность определения для каждого объекта прогнозирования оптимального объема входов или выходов, который он должен достичь, чтобы иметь максимальную эффективность;
- метод не налагает ограничений на функциональную форму зависимостей между входами и выходами, поскольку кусочно-линейная граница эффективности является непараметрической;
- отсутствие необходимости субъективного задания функциональной формы эффективной поверхности, а также формы распределения случайной ошибки.

В наиболее общем виде суть метода DEA для четырех компонентов качества жизни (входов) представлена на рисунке.

Фактическая поверхность строится на основе показателей качества жизни исследуемого региона, а эффективная поверхность – на основе информации о регионах, передовых по этим показателям. Сравнительный анализ фактической и эффективной поверхностей дает возможность осуществлять целевое (нормативное) прогнозирование, т. е. определять желательный уровень качества жизни населения в будущем, пути и сроки достижения оптимальных показателей качества жизни, принимаемых в качестве цели.

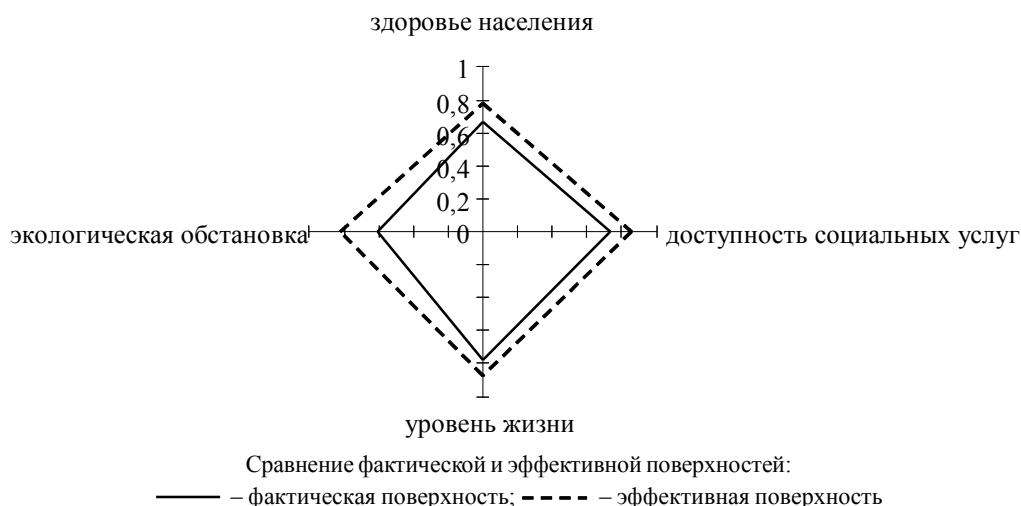
Схематично предлагаемая методика оценки и прогнозирования качества жизни населения с учетом региональных особенностей представлена в табл. 3.

Важным преимуществом предлагаемой методики оценки и прогнозирования качества жизни является то, что применяемые показатели соответствуют требованию информационной доступности и входят в номенклатуру официальных статистических показателей (или вычисляются по значениям последних); кроме того, предлагаемая методика:

- учитывает приоритетность региональных особенностей; для оценки качества жизни населения Красноярского края отобраны показатели, отражающие факторы, которые оказывают наиболее существенное влияние на жизнедеятельность населения;
- отличается простотой применения и быстротой получения результатов;
- позволяет отслеживать динамику качества жизни населения региона, осуществлять межрегиональные и внутрирегиональные сравнения, производить ранжирование внутрирегиональных административно-территориальных единиц по качеству жизни;
- учитывает субъективную оценку значимости отдельных компонентов качества жизни для населения;
- является гибкой и динамичной, так как при изменении факторов, оказывающих влияние на качество жизни населения региона, дает возможность изменить или дополнить перечень применяемых единичных показателей.

Библиографические ссылки

1. Adams R. Performance indicators for sustainable development // Accounting and Business, 1999.
2. The limiting to growth / D. H. Meadows [et al.]. Potomas, 1972.
3. Бобылев В. Информационная и методическая основа для расчета эколого-экономических индикаторов. М. : Изд-во МГУ, 2000.
4. Яковец Ю. О сочетании долгосрочного прогнозирования и стратегического планирования // Экономист. 2008. № 6.
5. Жукова Н. В. Индикаторы социального развития как инструмент социального программирования: зарубежный опыт // Социология. 1994. № 3–4.
6. Политика доходов и качества жизни населения / под ред. Н. А. Горелова. СПб. : Питер, 2003.



7. Мстиславский П. С. Социальные параметры в сопоставлении с европейскими странами // Уровень жизни населения регионов России. 2003. № 2.

8. Осипов Г. В. Социология и социальное мифотворчество. М. : [б. и], 2002.

9. Айвазян С. А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях. М. : [б. и], 2000.

10. Колбасина А. Разработка методики оценки качества жизни территорий (на примере г. Красноярск) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ram.ru/activity/comp/bp2003/files/std09.pdf>.

11. Бородин Ф. М., Айвазян С. А. Социальные индикаторы. М. : Юнити-Дана, 2006.

12. Прогнозирование в экономической географии / А. М. Трофимов [и др.]. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1990.

13. Егоров В. В., Парсаднов Г. А. Прогнозирование национальной экономики. М. : Инфра-М, 2001.

14. Прогнозирование и планирование в условиях рынка / под ред. Т. Г. Морозовой. М. : ЮНИТИ, 2001.

15. Кривоножко В. Е., Уткин О. Б., Сеньков Р. В. Параметрические методы в анализе эффективности сложных систем // Нелинейная динамика и управление : сб. тр. ИСА РАН / под ред. С. К. Коровина. М., 1999.

16. Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. Data Envelopment Analysis. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000.

Таблица 3

Этапы оценки и прогнозирования качества жизни населения

Источники информации		Этап		Применяемые методы
Официальная статистическая отчетность анализируемого региона	→	1. Выявление факторов, оказывающих наибольшее отрицательное влияние на качество жизни населения	←	Аналитические методы
	→	2. Определение компонентов и показателей, отражающих выявленные негативные факторы	←	
	→	3. Расчет частных и обобщенных показателей по каждому компоненту качества жизни	←	Среднее геометрическое
Результаты этапа 3, результаты экспертного опроса	→	4. Расчет комплексного показателя качества жизни	←	Среднее арифметическое взвешенное; метод ранжирования (для получения коэффициентов весомости)
Результаты этапов 3, 4	→	5. Построение фактической поверхности	←	Метод DEA
Официальная статистическая отчетность регионов, передовых по анализируемым показателям качества жизни	→	6. Построение эффективной поверхности	←	
Результаты этапов 5, 6	→	7. Сравнительный анализ фактической и эффективной поверхностей	←	
Результаты этапа 7	→	8. Определение желательного уровня качества жизни населения в будущем; пути и сроки достижения оптимальных показателей качества жизни, принимаемых в качестве цели	←	Методы анализа и синтеза

R. N. Shevelyova

TECHNIQUE OF THE ESTIMATION AND FORECASTING OF LIVING STANDARDS OF THE POPULATION

The essence of the developed technique of estimation and forecasting of living standards of the population taking into account regional features is revealed.

Keywords: living standards of the population, estimation of living standards, forecasting of living standards.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абрамов Сергей Степанович – кандидат технических наук, доцент кафедры радиопередающих устройств и электропитания Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1983 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация. E-mail: abramov@sibsutis.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.

Александрова Наталья Борисовна – младший научный сотрудник Красноярского отдела Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный университет в 1999 г. Область научных интересов – методологическое обоснование инвестиционного и инновационного развития территорий, формирование стратегий регионального развития, организационно-экономические механизмы управления инновационным развитием отраслевых комплексов, экономическая оценка инновационных проектов. E-mail: sibtarales@mail.ru.

Аплеснин Сергей Степанович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1976 г. Область научных интересов – физика конденсированного состояния, физика магнитных явлений. E-mail: aplesnin@sibsau.ru.

Арипова Ольга Владимировна – старший преподаватель кафедры процессов управления Балтийского государственного технического университета «Военмех» имени Д. Ф. Устинова. Окончила Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д. В. Устинова в 2002 г. Область научных интересов – информационные технологии, разработка распределенных сетевых ресурсов и их систем управления. E-mail: madfu@mail.ru.

Бачурина Елена Петровна – аспирант Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2006 г. Область научных интересов – интеллектуальные технологии обработки данных. E-mail: sfu-unesco@mail.ru.

Белозерцев Владимир Семенович – доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1974 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. E-mail: braverman-vladimir@rambler.ru.

Бережницкая Елена Петровна – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интере-

сов – сканирующая зондовая микроскопия. E-mail: berezitskaya_86@mail.ru.

Бобарика Игорь Олегович – аспирант, ассистент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники Иркутского государственного технического университета. Окончил Иркутский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – около- и внеэкранная аэродинамика, проектирование перспективных летательных аппаратов. E-mail: megusMC@mail.ru.

Бойко Оксана Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1985 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, теория автоматического управления, композиционные материалы. E-mail: bouko@sibsau.ru.

Браверман Владимир Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. E-mail: braverman-vladimir@rambler.ru.

Брезицкая Валерия Витальевна – сотрудник ЗАО «Делфи». Окончила Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – обработка информации и информационный менеджмент. E-mail: bresizkajaw@rambler.ru.

Валов Михаил Владимирович – 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 – разработка космических аппаратов информационного обеспечения. E-mail: mike110@iss-reshetnev.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.

Внуков Алексей Анатольевич – 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 – разработка космических систем и космических аппаратов информационного обеспечения, прикладное применение нейронных сетей, сопротивление материалов. E-mail: denebus@yandex.ru.

Галибей Нестор Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики Сибирского государственного технологического университета. Окончил Сибирский технологический институт в 1957 г. Об-

ласть научных интересов – зубчатые передачи, редукторы, системы автоматического проектирования механических систем. E-mail: kukoch1985@yandex.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@sfu-kras.ru.

Городилов Александр Андреевич – аспирант кафедры проектирования и экспериментальной механики машин Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – математическое моделирование. E-mail: agorodilov@sfu-kras.ru.

Гостева Ольга Владимировна – старший преподаватель кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1987 г. Область научных интересов – проектный менеджмент. E-mail: luna77@mail.ru

Гретченко Александр Анатольевич – кандидат экономических наук, докторант Российской экономической академии имени Г. В. Плеханова. Окончил Российскую экономическую академию имени Г. В. Плеханова в 2003 г. и Институт бизнеса и юриспруденции Борнмутского университета в 2006 г. Область научных интересов – макроэкономика, инновационная экономика и международные финансы. E-mail: vaz21063@list.ru.

Гущин Артем Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и компьютерных технологий Балтийского государственного технического университета «Военмех» имени Д. Ф. Устинова. Окончил Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д. Ф. Устинова в 2001 г. Область научных интересов – информационные технологии, интеллектуальные информационные системы, лично-ориентированные информационные системы. E-mail: arni-h@yandex.ru.

Дамов Михаил Витальевич – аспирант 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 2005 г. Область научных интересов – анализ и восстановление видеопоследовательностей, распознавание образов, искусственный интеллект. E-mail: info@lightsoft.org.

Ермолаев Роман Александрович – кандидат технических наук, заместитель начальника отдела материаловедения ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Томский политехнический университет в 1997 г. Область научных интересов – нанесение покрытий различного назначения. E-mail: ermolaev@iss-reshetnev.ru.

Ерунова Марина Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент Красноярского государственного аграрно-

го университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 1999 г. Область научных интересов – геоинформатика, экологический мониторинг, системный анализ. E-mail: marina@icm.krasn.ru.

Зайцев Олег Владимирович – начальник отдела ОАО «Российские космические системы». Окончил Киевский институт инженеров гражданской авиации в 1986 г. Область научных интересов – разработка и реализация вычислительных алгоритмов обработки сигналов в реальном времени. E-mail: ovvn151185@rambler.

Зеленков Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии» Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2002 г. Область научных интересов – информационные технологии. E-mail: zelenkow@pambler.ru.

Иванов Константин Яковлевич – аспирант кафедры прикладной механики Сибирского государственного технологического университета. Окончил Сибирский государственный технологический университет в 2007 г. Область научных интересов – зубчатые передачи, редукторы, системы автоматического проектирования механических систем. E-mail: kukoch1985@yandex.ru.

Игнатьев Игорь Владимирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой управления технических систем Братского государственного университета. Окончил Иркутский политехнический институт в 1979 г. Область научных интересов – исследование статистической и динамической устойчивости электроэнергетических систем. E-mail: uts@brstu.ru.

Исмаилов Борис Николаевич – начальник курса высшей аттестационной комиссии академии управления Министерства внутренних дел России. Окончил Самаркандское высшее военное автомобильное командное училище имени Верховного Совета Узбекской ССР в 1991 г. Область научных интересов – техническое законодательство, менеджмент качества. Т. (391)266-98-66.

Калашникова Екатерина Александровна – аспирант кафедры международного менеджмента Института международного менеджмента и бизнеса Красноярского государственного аграрного университета. Окончила Красноярский государственный аграрный университет в 2007 г. Область научных интересов – экономика. E-mail: rekruttywe@mail.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 имени академика М. Ф. Решетнева в 1999 г. Область научных интересов – мультилингвистическая технология обучения иностранным языкам, разработка частотных терминологических словарей. Т. 8-902-992-64-12.

Ковров Артем Евгеньевич – аспирант, программист кафедры управления технических систем Братского государственного университета. Окончил Братский государственный университет в 2005 г. Область научных интересов – исследование статистической устойчивости электроэнергетических систем. E-mail: memphis_83@mail.ru.

Колесняк Игорь Александрович – студент факультета прикладной информатики в экономике Российской экономической академии имени Г. В. Плеханова. Область научных интересов – государственная поддержка сырьевых и перерабатывающих отраслей региона. Т. 8-913-191-93-21.

Колташев Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела системного программирования для космических аппаратов ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Новосибирский государственный университет в 1975 г. Область научных интересов – технологии разработки и сопровождения встроеного программного обеспечения систем управления. E-mail: kaa216@npporm.ru.

Котова Ольга Николаевна – кандидат экономических наук, преподаватель экономического факультета Кемеровского государственного университета. Окончила Кемеровский государственный университет в 1979 г. Область научных интересов – стратегический маркетинг, маркетинг услуг, маркетинговые информационные системы. E-mail: avkotov@kemcity.ru.

Кочура Сергей Григорьевич – главный конструктор электрического проектирования и испытаний космических аппаратов ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1978 г. Область научных интересов – электрическое проектирование и испытания систем электропитания, систем управления космических аппаратов к воздействию факторов космического пространства естественного и техногенного происхождения. E-mail: kochura@npporm.ru.

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 ракетноносителей. E-mail: katbelka@yandex.ru

Кузовников Александр Витальевич – аспирант кафедры электронной техники и телекоммуникаций 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 – цифровая обработка сигналов, радиолокация. E-mail: uiub@list.ru.

Лапин Алексей Николаевич – аспирант Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Окончил Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники в 2006 г. Область научных интересов – радиационная физика и химия, физика и химия поверхности, оптика, разработка покрытий для космических аппаратов, исследование процессов деградации оптических свойств материалов и покрытий под действием факторов космического пространства, прогнозирование работоспособности покрытий в условиях реальных орбит. E-mail: alexey_nl@sibmail.com.

Левченко Владислав Игоревич – студент Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева. Область научных интересов – элементы устройства вычислительной техники и систем управления. E-mail: levchenkovlig@mail.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.

Максимов Игорь Александрович – кандидат технических наук, начальник отдела ЭМС, ЭСР и ФКП ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Красноярский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – взаимодействие космического аппарата с факторами космического пространства естественного и техногенного происхождения. E-mail: maximov@npporm.ru.

Малинкин Евгений Витальевич – инженер-исследователь Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики в 2005 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация. Т. 8-905-827-3073.

Мальцев Константин Вадимович – 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.

Матюнин Сергей Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронных систем и устройств Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева. Окончил Куйбышевский политехнический институт в 1973 г. Область научных интересов – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. E-mail: mitrea.sgau@rambler.ru.

Миронович Валерий Викентьевич – начальник отдела материаловедения ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Томский политехнический институт в 1976 г. Область научных интересов – материаловедение, физика конденсированного состояния. 8(39197)6-41-39.

Михайлов Михаил Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией радиационного и космического материаловедения Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, заслуженный деятель науки РФ. Окончил Томский институт радиоэлектроники и электронной техники в 1969 г. Область научных интересов – радиационная физика и химия, физика и химия поверхности, оптика, разработка покрытий для космических аппаратов, исследование процессов деградации оптических свойств материалов и покрытий под действием факторов космического пространства, прогнозирование работоспособности покрытий в условиях реальных орбит. E-mail: membrana2000@mail.ru.

Михеенко Анатолий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиопередающих устройств и электропитания Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Ленинградский электротехнический институт связи в 1963 г. Область научных интересов – генераторное оборудование. E-mail: amm@neic.nsk.ru.

Морозов Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский государственный технический университет в 1997 г. Область научных интересов – автоматизация электрических измерений. E-mail: morozov@ktor.ref.nstu.ru.

Москвин Антон Иванович – аспирант кафедры 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 – физика магнитных явлений, моделирование методик Монте-Карло. E-mail: anton.moskvin@mail.ru.

Нагаева Ольга Сергеевна – младший научный сотрудник Красноярского отдела Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный университет в 1999 г. Область научных интересов – региональная экономика, экономика природопользования, инвестиционный анализ. E-mail: espro@mail.ru.

Надирадзе Андрей Борисович – профессор, ведущий научный сотрудник кафедры электроракетных двигателей и энергетических установок Московского авиационного института (Государственного технического университета). Окончил Московский авиационный институт в 1985 г. Область научных интересов – прогнозирование воздействия электроракетных двигателей на элементы и системы космических аппаратов, компьютерное моделирование сложных систем, взаимодействие плазмы с поверхностью. E-mail: nadiradze@mail.ru.

Назаров Анатолий Андреевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики факультета прикладной математики и кибернетики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 1970 г. Область научных интересов – исследования случайных потоков однородных событий, систем массового обслуживания моделей компьютерных сетей. E-mail: nazarov@fpmk.tsu.ru.

Носова Мария Геннадьевна – аспирант кафедры теории вероятностей и математической статистики факультета прикладной математики и кибернетики Томского государственного университета. Окончила Томский государственный университет в 2005 г. E-mail: nosova_mg@mail.ru.

Оборина Людмила Ивановна – инженер-менеджер фирмы «Союз». Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – менеджмент качества, технологическое обеспечение качества. Т. (391)220-94-56.

Остапенко Светлана Павловна – директор филиала ООО «ТЦ „Архимед“». Окончила Кемеровский филиал

Российского государственного торгово-экономического университета в 2006 г. Область научных интересов – промышленный маркетинг, маркетинг услуг, стратегический менеджмент. E-mail: arhimedkkm@inbox.ru.

Павлов Иван Иванович – инженер эксплуатации базовой станции ЗАО «Мобиком-Новосибирск». Окончил Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики в 2007 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация. Т. 8(383)262-07-76.

Паранин Вячеслав Дмитриевич – старший лаборант кафедры электронных систем и устройств Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева. Окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева в 2009 г. Область научных интересов – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. E-mail: vparanin@mail.ru.

Паршин Анатолий Сергеевич – кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой 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.

Петров Юрий Сергеевич – аспирант кафедры вычислительных и информационных технологий Института математики Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет в 2006 г. Область научных интересов – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, гидробиология, педагогика. E-mail: petrovys@mail.ru.

Полозова Татьяна Владимировна – аспирант Красноярского государственного аграрного университета. Окончила Восточно-Сибирский государственный технологический университет в 1986 г. Область научных интересов – актуальные проблемы развития предприятий сырьевых и перерабатывающих отраслей регионов с экстремальными природными условиями. E-mail: tatianapolozova@inbox.ru.

Попов Алексей Михайлович – доктор физико-математических наук, доцент, директор Института информатики и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1981 г. Область научных интересов – алгебра, защита информации, обработка изображений. E-mail: vm_popov@sibsau.ru.

Попов Василий Владимирович – начальник отдела ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Харьковский авиационный институт в 1975 г. Область научных интересов – разработка космических систем и космических аппаратов

информационного обеспечения. E-mail: popov_vv@iss-reshetnev.ru.

Поподько Галина Ивановна – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник Красноярского отдела Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Новосибирский государственный университет в 1979 г. Область научных интересов – социально-экономическое развитие, уровень жизни, трудовые ресурсы, механизмы инновационного развития страны и региона. E-mail: pgi90@bk.ru.

Прейс Александр Александрович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Иркутское высшее военно-авиационное инженерное училище в 1996 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация авиационной техники. E-mail: ganshonda@mail.ru.

Пригода Людмила Владимировна – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и кредита финансово-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета. Окончила Ростовскую государственную экономическую академию в 1999 г. Область научных интересов – муниципальные финансы, банковское дело. E-mail: lusi001@yandex.ru.

Прудков Виктор Викторович – аспирант 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 2008 г. Область научных интересов – информационные технологии, обработка информации. E-mail: neon@iss-reshetnev.ru.

Распопов Виталий Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, профессор кафедры вычислительных и информационных технологий Института математики Сибирского федерального университета. Окончил Новосибирский государственный университет в 1967 г. Область научных интересов – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, гидрология, педагогика. E-mail: lininal12kv34@mail.ru.

Робозов Сергей Алексеевич – директор ООО «Гео-пром». Окончил Красноярский государственный технический университет в 2001 г. Область научных интересов – системный анализ, математическое моделирование, распределенные информационные системы, системы мониторинга, региональная экономика. E-mail: robozov@mail.ru.

Смирнов Виктор Александрович – кандидат технических наук, начальник сектора отдела ЭМС, ЭСР и ФКП ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1985 г. Область научных интересов – прогнозирование воздействия собственной атмосферы, плазмы электроракетных двигателей и метеорного вещества на функционирование космического аппарата. E-mail: smirnov@nporpm.ru.

Снисаренко Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры самолето- и вертолетостроения Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1974 г. Область научных интере-

сов – динамика композитных конструкций. E-mail: snis@craft.nstu.ru.

Старовойтов Андрей Владимирович – ассистент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – цифровая обработка сигналов, функциональный анализ. E-mail: andreistar@mail.ru.

Степанов Дмитрий Владимирович – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – цифровая обработка сигналов, радиолокация, радиомониторинг, широкополосные сигналы. E-mail: i80s27@yandex.ru.

Стерехов Игорь Владимирович – инженер-механик ОАО «Хакасэнерго». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1988 г. Область научных интересов – технологическое обеспечение качества. Т. (391)291-92-14.

Тимофеева Марина Анатольевна – старший преподаватель кафедры маркетинга и логистики Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Окончила Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров в 2004 г. Область научных интересов – планирование социально-экономического развития административно-территориальных образований различного уровня, исследование социально-экономических явлений и процессов, стратегический менеджмент. E-mail: timaran@yandex.ru.

Тихомиров Роман Евгеньевич – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – сканирующая зондовая микроскопия. E-mail: ohitsroma@gmail.com.

Трачук Аркадий Владимирович – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и антикризисного управления Финансовой академии при Правительстве Российской Федерации, генеральный директор ФГУП «Гознак». Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения в 1989 г. и Ленинградский финансово-экономический институт имени Н. А. Вознесенского в 1991 г. Область научных интересов – экономика и антикризисное управление. E-mail: trachuk_A_V@gosnak.ru.

Трифанов Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – технология производства летательных аппаратов и технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. Т. (391)291-92-14.

Фаворская Маргарита Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Рыбинский авиационный технологический институт в 1980 г. Область научных интересов – искусственный ин-

теллект, распознавание образов, обработка и распознавание изображений. E-mail: favorskaya@sibsau.ru.

Фурманова Евгения Андреевна – студентка Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – безопасность, техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей. Т. (391)268-71-04.

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.

Харламов Валерий Анатольевич – ведущий инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1971 г. Область научных интересов – вакуумные и композиционные покрытия, их технология. E-mail: trp@iss-reshetnev.ru.

Худонотов Алексей Викторович – аспирант Института градостроительства и управления региональной экономикой Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – маркетинг, маркетинговые коммуникации, реклама, брендинг. E-mail: akhudonogov@gmail.com.

Чеботарев Виктор Евдокимович – доктор технических наук, доцент, ведущий инженер-конструктор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Харьковский государственный университет в 1963 г. Область научных интересов – анализ и синтез систем, разработка космических систем и космических аппаратов информационного обеспечения. E-mail: chebotarev@iss-reshetnev.ru.

Чернятина Анастасия Александровна – начальник группы вакуумных покрытий ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Красноярский государственный университет в 2000 г. Область научных интересов – терморегулирующие и радиотехнические покрытия, физика тонких пленок. E-mail: trp@iss-reshetnev.ru.

Шаймарданов Лев Гайнуллович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Куйбышевский авиационный институт в 1966 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей. Т. (391)294-65-29.

Шангина Екатерина Андреевна – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – разработка космических аппаратов информационного обеспечения, системный анализ. E-mail: kati6230@ya.ru/.

Шапошников Владимир Владимирович – старший научный сотрудник НИО-208 Московского авиационного института (Государственного технического университета). Окончил Московский авиационный институт в 1985 г. Область научных интересов – электростатистическая зарядка и активная нейтрализация космического аппарата, проблемы совместимости электроракетных двигателей с космическими аппаратами. Т. (495)158-46-74.

Шевелева Регина Николаевна – аспирант кафедры маркетинга Института управления агробизнеса Красноярского государственного аграрного университета. Окончила Красноярский государственный аграрный университет в 2003 г. Область научных интересов – региональная экономика, региональное развитие. E-mail: 23regina@ravdler.ru.

Юрков Николай Сергеевич – аспирант кафедры информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Государственный университет цветных металлов и золота в 2006 г. Область научных интересов – методы анализа данных. E-mail: solid_citizen@mail.ru.

Юрова Наталья Александровна – аспирант кафедры коммерции и внешне-экономической деятельности Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2005 г. Область научных интересов – коммерческая деятельность. E-mail: yurovan@yandex.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.

Якунин Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2002 г. Область научных интересов – системный анализ, моделирование процессов в организационных системах, технологии разработки программного обеспечения. E-mail: yakuninyu@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА	3
Колташев А. А. Основные принципы системного тестирования и подтверждения бортового программного обеспечения спутников	4
Прудков В. В. Программные средства автономной обработки подсистем блока управления перспективных космических аппаратов	7
Фурманова Е. А., Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Возможности оптимизации структуры функциональных систем самолетов гражданской авиации	9
Михеенко А. М., Абрамов С. С., Павлов И. И. К анализу широтно-импульсной системы с обратной связью	12
Малинкин Е. В. Инвариантная передача сигналов с обработкой в частотной области	16
Зайцев О. В. Методика восстановления несущей частоты сигнала телеметрических систем при цифровой обработке	21
Игнатъев И. В., Ковров А. Е. Алгоритм выбора настроек автоматических регуляторов возбуждения в многомашинных энергосистемах	24
Петров Ю. С., Распопов В. Е. Результаты вычислительных экспериментов при математическом моделировании водных экосистем	29
Степанов Д. В., Кузовников А. В. Исследование фрактальных свойств радиосигналов	35
Якубайлик О. Э. Геоинформационная интернет-система мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли	40
Иванов К. Я., Галибей Н. И. Зубчатые двухступенчатые редукторы. Выбор оптимальной схемы	45
Назаров А. А., Носова М. Г. Исследование математической модели демографических процессов в виде пятифазной системы массового обслуживания	49
Дамов М. В. Восстановление фона в областях кадра с объектами малого размера в видеопоследовательности	52
Личаргин Д. В. Порождение дерева состояний на основе порождающих грамматик над деревьями строк	57
Якунин Ю. Ю., Городилов А. А. Алгоритмы расчета комплексных показателей в динамических структурах представления данных	59
Фаворская М. Н., Попов А. М. Формирование контекстной грамматики для распознавания сложных сцен с многоуровневым движением объектов	64
Старовойтов А. В. О многомерном аналоге алгоритма Кули–Тьюки	69
Аплеснин С. С., Москвин А. И. Магнитоэлектрический эффект, индуцируемый орбитальным упорядочением электронов	73
Карасева М. В. Генерация ассоциативного поля лексически связанных терминологических компонентов	77
Арипова О. В., Гушин А. Н. Методика управления агентами в мультиагентной экспертной системе	79
Юрков Н. С. Многофакторная модель прогнозирования характеристик выпускаемой продукции на основе метода опорных векторов	84
Карасева М. В., Бачурина Е. П., Зеленков П. В., Брезицкая В. В. Модуль поиска информации на основе использования мультилингвистических тезаурусов	89
РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА	91
Чеботарев В. Е., Попов В. В., Валов М. В., Внуков А. А., Шангина Е. А. Методика нормирования массы рабочего тела двигательной установки космического аппарата в условиях неопределенности	92
Гарин Е. Н. Влияние условий прохождения сигналов СРНС ГЛОНАСС и GPS на погрешность определения относительных координат	95
Краева Е. М. Теоретический анализ обтекания решетки профилей малорасходного центробежного насоса потоком вязкой жидкости	96
Бобарика И. О. Проектирование экраноплана схемы «утка» с учетом интерференции его несущих поверхностей	100
Хамитов Р. Н. Система управления и процессы двухобъемного пневмоамортизатора	105
Прейс А. А. Сравнение методик расчета надежности функциональных систем самолетов государственной авиации	109

Бойко О. Г. Анализ зависимости прочности, риска катастроф и эффективности перевозок от массы конструкции самолета	114
Надирадзе А. Б., Шапошников В. В., Смирнов В. А., Максимов И. А., Кочура С. Г. Учет индикатрисы распыления при оценках эрозионно-загрязняющего воздействия струй плазменных двигателей на космические аппараты	117
РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ	121
Морозов Ю. В., Снисаренко С. И. Автоматизированный испытательный стенд для исследования волн деформаций в композитных конструкциях	122
Матюнин С. А., Паранин В. Д., Левченко В. И. Моделирование фазовой функции управляемых дифракционных элементов на основе линейного электрооптического эффекта	126
Браверман В. Я., Белозерцев В. С. Анализ зависимости рентгеновского излучения от положения канала проплавления относительно стыка при электронно-лучевой сварке	131
Михайлов М. М., Лапин А. Н. Радиационная стойкость термостабилизирующих покрытий космических аппаратов на основе титаната бария	134
Паршин А. С., Александрова Г. А., Вайтузин О. П., Березицкая Е. П., Тихомиров Р. Е., Чернятина А. А., Харламов В. А., Ермолаев Р. А., Миронович В. В. Исследование многофункциональных нанопокровов для космических аппаратов методом сканирующей зондовой микроскопии	136
Оборина Л. И., Исмаилов Б. Н., Стерехов И. В., Трифанов И. В. Дилатометрические исследования физических параметров труб волноводов КВЧ-диапазона	140
РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА	143
Пацук О. В. Разработка стратегии экономического развития регионов	144
Поподыко Г. И., Нагаева О. С. Анализ системы подготовки квалифицированных специалистов и направления ее совершенствования с целью обеспечения инновационного развития Красноярского края	150
Гретченко А. А. Форсайт как инновационный инструмент прогнозирования и реализации научных и технологических приоритетов	154
Худонотов А. В. Современная система маркетинговых коммуникаций и структурная взаимосвязь ее элементов	160
Юрова Н. А. Инструменты и методы управления ассортиментом товаров в ритейле	165
Пригода Л. В. Имидж муниципального образования как составляющая инвестиционной привлекательности территории	171
Робозов С. А., Ерунова М. Г., Мальцев К. В. Оценка качества регионального и муниципального управления в автоматизированной информационной системе мониторинга муниципальных образований	176
Котова О. Н., Остапенко С. П. Маркетинговые стратегии сервисных компаний в условиях современного экономического кризиса	181
Александрова Н. Б. Формирование стратегии инновационного развития лесопромышленного комплекса региона	186
Тимофеева М. А. Комплексная система оценки качества жизни населения административно-территориальных образований различного уровня	192
Полозова Т. В., Колесняк И. А., Колесняк А. А. Формирование системы оптовых продовольственных рынков региона	198
Трачук А. В. Состояние конкурентных отношений в реформированной электроэнергетике России	203
Трачук А. В. Особенности государственного регулирования олигополии	207
Шевелева Р. Н. Методика оценки и прогнозирования качества жизни населения	211
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	216

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS	3
Koltashev A. A. Main principles of communication and navigation satellites onboard software system testing and validation	7
Prudkov V. V. Software of stand-alone development of subsystems of the control module of the perspective space vehicles	9
Furmanova E. A., Boiko O. G., Shaimardanov L. G. The civil aviation airplanes functional system structure optimization abilities	12
Miheenko A. M., Abramov S. S., Pavlov I. I. To the analysis of pulse-duration system with a feedback	16
Malinkin E. V. Invariant transmission of signals with processing in frequent field	21
Zaitsev O. V. Applied method for carrier frequency restoration of telemetry systems signal by digital processing	24
Ignatyev I. V., Kovrov A. E. The choice algorithm of automatic excitation regulator settings for multimachine electric power systems	29
Petrov Y. S., Raspopov V. E. Results of computing experiments at mathematical modeling of water ecosystems	34
Stepanov D. V., Kuzovnikov A. V. Research of fractal properties of radiosignals	39
Yakubailik O. E. Geoinformation internet system for environmental monitoring in the productive activity area	
of oil and gas industry enterprises	45
Ivanov K. Ya., Galibei N. I. Two-stage gear reducers. The choice of optimal scheme	49
Nazarov A. A., Nosova M. G. The mathematical model of demographic processes research in the form of a five-phase system of mass service	52
Damov M. V. Background restoration in frame area with small size object in video sequences	56
Lichargin D. V. The generation of states tree on the basis of the generative grammars over the trees of strings	58
Yakunin Yu. Yu., Gorodilov A. A. Algorithms of calculation of complex indicators in dynamic structure of data view	63
Favorskaya M. N., Popov A. M. Forming of context-dependent grammar for describing of complex scene with multi-level moving of objects	68
Starovoytov A. V. About multidimensional analog of algorithm of Cooley–Tukey	73
Aplesnin S. S., Moskvina A. I. Magnetoelectric effect induced by orbital ordering of electrons	77
Karaseva M. V. Associative field generation of lexically related components	79
Aripova O. V., Guschin A. N. Methods of agent control in multi-agent expert system	84
Yurkov N. S. Multiparametric model on basis of support vector machines for forecasting product characteristics	88
Karaseva M. V., Bachurina E. P., Zelenkov P. V., Brezitskaya V. V. Information search module based on multilinguistic thesauruses	89
PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING	91
Tchebotaryov V. E., Popov V. V., Valov M. V., Vnukov A. A., Shangina E. A. Technique of rate making of medium mass of the working body of propulsion installation of the space vehicle in the conditions of uncertainty	94
Garin E. N. The influence of conditions for passing GLONASS and GPS satellite radio navigation signals on the errors of defining relative coordinates	96
Kraeva E. M. Theoretical analysis of flow of cascade of low-flow centrifugal pump by viscid fluid stream	99
Bobarika I. O. Designing wing in ground effect craft of the «Duck» scheme with the account of the interference of its bearing surfaces	104
Khamitov R. N. Control system and processes of two-volume pneumoshock-absorber	109
Preis A. A. The state aviation airplanes functional systems reliability calculation methods comparison	113
Boyko O. G. The analysis of dependence of durability, risk of accidents and efficiency of transportations on airplane construction weight	116
Nadiradze A. B., Shaposhnikov V. V., Smirnov V. A., Maximov I. A., Kochura S. G. Indicatrix account of materials dispersion at the estimations of erosion-contaminating influence of streams of plasma thrusters on space craft	120

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS	121
Morozov Yu. V., Snisarenko S. I. Computerized test stand for research of strain waves in composite constructions	126
Matyunin S. A., Paragin V. D., Levchenko V. I. Modeling of phase function of controlled diffraction elements on the basis of linear electro-optical effect	130
Braverman V. Ya., Belozertsev V. S. Analysis of x-ray radiation dependence on melting chanal position relatively to joint under the electron beam welding process	134
Mikhailov M. M., Lapin A. N. Radiation resistance of thermo stabilizing barium titanate coatings for space aircrafts	136
Parshin A. S., Alexandrova G. A., Vaituzin O. P., Berezitskaya E. P., Tikhomirov R. E., Chernyatina A. A., Kharlamov V. A., Ermolaev R. A., Mironovich V. V. Research of multipurpose nanocoatings for spacecrafts by method of scanning probe microscopy	140
Oborina L. I., Ismajlyov B. N., Sterekhov I. V., Trifanov I. V. Dilatometric research of physical parameters of waveguides EHF-band pipes	142
PART 4. ECONOMICS	143
Patsuk O. V. Design of the regions' economic development strategy	149
Popod'ko G. I., Nagaeva O. S. The analysis of system of training of qualified specialists and directions of its improvement for providing the innovative development of Krasnoyarsk region	150
Gretchenko A. A. Forsyte as the innovative tool of forecasting and realization of scientific and technological priorities	159
Khudonogov A. V. Modern system of marketing communications and structural correlation of its elements	165
Yurova N. A. Instrument and methods of goods assortment management in retail	170
Prigoda L. V. The image of a municipality as a constituent of investment attractiveness of the territory	175
Robozov S. A., Erunova M. G., Maltsev K. V. The assessment of regional and municipal management quality in the automated information system of municipalities monitoring	181
Kotova O. N., Ostapenko S. P. Marketing strategies of service companies in conditions of the contemporary world financial crisis	186
Aleksandrova N. B. Forming of the innovation strategy of the regional timber processing complex	191
Timofeeva M. A. A complex system of life quality estimation of the administrative-territorial formations at various levels	197
Polozova T. V., Kolesnyak I. A., Kolesnyak A. A. Formation of wholesale food regional market systems	202
Trachuk A. V. Competition status in the Russian post-reform electric-power industry	206
Trachuk A. V. Oligopoly state regulation features	211
Shevelyova R. N. Technique of the estimation and forecasting of living standards of the population	215
THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	216

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 внутрискладочные 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, шрифтом 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.

Библиографические ссылки составляются в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещаются после основного текста (ГОСТ 7.0.5–2008).

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).

Библиографические ссылки

1. Гришин Б. П., Казаринов Ю. М. Динамические системы, устойчивые к отказам. М. : Радио и связь, 1985.
2. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // 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:
