ВЕСТНИК

Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 1 (41)

Красноярск 2012

ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 1 (41)

Главный редактор
доктор технических наук
Ковалев И. В.

Заместители главного редактора:
доктор физико-математических наук
Логинов Ю. Ю.

доктор физико-математических наук
Сенашов С. И.

доктор технических наук
Михеев А. Е.

кандидат технических наук
Зеленков П. В. (отв. секретарь)

Редакционная коллегия:
Аплеснин С. С.
Головенкин Е. Н.
Ерыгин Ю. В.
Краев М. В.
Лаптенок В. Д.
Ловчиков А. Н.
Медведев А. В.
Москвичев В. В.
Сафонов К. В.
Смирнов Н. А.
Сомов В. Г.

Учредитель
Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

© Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2012
© Коллектив авторов, 2012

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:
российской 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: К. С. Мирошникова, О. А. Плехова, Т. Е. Ильющенко, Е. Г. Некрасова, Т. А. Ермолаева
Редактор английского текста А. Г. Никитина
Оригинал-макет и верстка М. А. Белоусовой
Подп. в печать 19.03.2012. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 29,2.
Уч.-изд. л. 36,2. Тираж 1000 экз. Заказ 87/136. С 64/12.
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.

Раздел
1

МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 002.53; 002.53:004.65; 002.53:004.62/.63

Э. С. Аметова, А. А. Вичугова, В. Н. Вичугов, Ю. А. Суханова, С. Г. Цапко

ПРОЕКТ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ОАО «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ» ИМЕНИ АКАДЕМИКА М. Ф. РЕШЕТНЕВА»*

Рассмотрено понятие единого информационного пространства и приведены этапы его построения для процессов создания бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева».

Ключевые слова: бизнес-процессы, интеграция информационных систем.

В Федеральной космической программе на 2006–2015 гг. (ФКП-2015) в качестве основного направления развития космической техники рассматривается широкое использование информационных и компьютерных технологий [1]. В рамках ФКП-2015 в 2010 г. между Томским политехническим университетом (ТПУ) и ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» (ОАО «ИСС») был заключен договор на выполнение опытно-конст-рукторских работ (ОКР) по разработке и внедрению методов, моделей и алгоритмов организации единого информационного пространства (ЕИП) создания бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА) космического аппарата (КА).

Единое информационное пространство. Единое информационное пространство – это программно-аппаратная интегрированная среда, объединяющая все информационные ресурсы организации: неструктурированную информацию и формализованные статические, а также динамически изменяемые данные о текущих процессах, ресурсах, продуктах и контрагентах предприятия [2]. Таким образом, ЕИП обеспечивает комплексное, всестороннее информационное сопровождение продукции на каждом этапе ее жизненного цикла (ЖЦ), от разработки концепции до утилизации, через стадии маркетинговых исследований, проектирования, изготовления, реализации и эксплуатационной поддержки. Каждый этап ЖЦ продукции сопровождается соответствующей документацией.

Технически ЕИП реализуется посредством специальных информационных средств управления данными о продукции – PDM-систем (от англ. Product Data Management), поддерживающих интеграцию с другими информационными системами (ИС), которые обеспечивают поддержку ЖЦ продукции, например ERP, SCADA, CAD/CAM/CAE-системами, системами автоматизированного проектирования (САПР) и т. д. (рис. 1).

Для технической реализации задач взаимного сопряжения программных компонентов ЕИП необходимо наличие соответствующей телекоммуникационной среды, обеспечивающей непрерывный обмен данными.

Кроме того, все ИС в составе ЕИП должны поддерживать универсальные форматы представления информации (например, такие как STEP, MANDATE, PLIB) и технологии расширения их стандартного функционала (API, внутренние среды разработки и т. д.).

Особенности ЕИП для процессов проектирования БРЭА КА. Проектирование и производство высокотехнологичной продукции, к которой, в частности, относится БРЭА КА, связано с использованием большого количества информации в виде проектных данных, электронных моделей изделия и конструкторской документации, с которой работает множество специалистов различного профиля, что неизбежно приводит к возрастанию временных затрат в случае отсутствия четко регламентированных процедур информационного обмена и оперативного поиска необходимых данных.

В настоящее время для решения этих задач применяются технологии информационной поддержки ЖЦ изделий, в том числе PDM-системы и САПР, объединенные в единый программно-аппаратный комплекс ЕИП.

Непосредственно сама идея организации ЕИП исследуется на протяжении практически 10 лет российскими и зарубежными учеными, однако авторами статьи до сих пор не обнаружено универсальных методик построения ЕИП применительно к особенностям космического приборостроения.

*Работа выполнена в рамках реализации Постановления № 218 Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» и договора № 13.G25.31.0017 от 7 сентября 2010 г. между ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» и Министерством образования и науки РФ.

Рис. 1. Процессы ЖЦ продукции и поддерживающие их виды информационных систем

Среди этих особенностей можно выделить следующие:

– проектирование БРЭА включает в себя, как минимум, два взаимосвязанных аспекта: электрическое проектирование, которое обеспечивает выполнение определенных функций в условиях воздействия различных факторов, и механическое проектирование, цель которого состоит в размещении определенных радиоэлектронных средств согласно требованиям к массогабаритным характеристикам прибора. Это обусловливает высокий уровень сопряжения различных САПР в рамках ЕИП;

– в связи с тем что ракетно-космическая техника относится к сфере оборонной промышленности, комплектующие для проектирования БРЭА КА должны входить в перечень средств, разрешенных к применению специальным регламентирующим документом Министерства обороны. Это ограничение вызывает необходимость интеграции САПР с ИС управления ресурсами, в которых хранится и обрабатывается информация маркетингового характера о комплектующих;

– функциональная сложность БРЭА КА определяет длительность и итеративность процессов проектирования и испытаний, при этом в рамках разработки одного изделия ведется параллельное проектирование нескольких его версий со всей сопутствующей документацией. Необходимо отслеживать все множественные связи между сущностями, задействованными в этой деятельности.

Таким образом, задачи построения ЕИП и настройки его программных компонентов примерительно к специфике приборного производства имеют высокую практическую значимость.

Этапы построения ЕИП. Сложный состав и масштаб ЕИП обусловливают трудности его создания и внедрения, поскольку оно охватывает всю структуру предприятия: от производства до управления. Построение ЕИП является длительным и дорогостоящим процессом, однако в дальнейшем оно позволит сократить расходы на производство наукоемкой продукции, повысить эффективность работы предприятия и вывести его на современный уровень функционирования.

На основе изучения мирового и российского опыта использования новых информационных технологий в приборостроительной промышленности [2] авторами был разработан алгоритм построения ЕИП в рамках отделения проектирования и испытаний БРЭА в ОАО «ИСС» (табл. 1, рис. 2).

За период реализации проекта построения ЕИП для процессов создания БРЭА КА (с октября 2010 г. по настоящее время) завершены этапы 1–3. В ноябре 2011 г. выполнена тестовая эксплуатация прототипа ЕИП на примере пилотного проекта по проектированию прибора в отделении проектирования и испытаний БРЭА ОАО «ИСС». По итогам тестовой эксплуатации будет составлен протокол испытаний и выполнена доработка прототипа ЕИП. Запуск предлагаемых методов, моделей и алгоритмов в промышленную эксплуатацию планируется на декабрь 2012 г.

Таблица 1

Этапы построения ЕИП создания БРЭА КА в ОАО «ИСС»

№ этапа	Название	Результат
1	Описание процессов создания БРЭА КА на основе анкетирования сотрудников и анализа нормативной документации	Модели бизнес-процессов создания БРЭА КА «как есть». Информационные потоки и перечень документов, циркулирующих между бизнес-процессами. Перечень структурных подразделений – участников процессов создания БРЭА КА и характер их взаимодействия
2	Анализ программно-аппаратной среды процессов создания БРЭА КА в ОАО «ИСС»	Перечень программных средств, используемых в процессах создания БРЭА. Описание и анализ компьютеров и коммутационного оборудования структурных подразделений – участников процессов создания БРЭА КА. Анализ PLM-решений, используемых на российских и зарубежных предприятиях, обоснование выбора PDM-системы
3	Разработка типовых моделей процессов создания БРЭА КА «как должно быть»	Рекомендации по оптимизации процессов и структуры отделения проектирования и испытаний БРЭА. Модели бизнес-процессов проектирования и испытаний БРЭА КА «как должно быть». Перечень информационных систем, рекомендуемых к использованию в рамках ЕИП для процессов создания БРЭА КА
4	Разработка прототипа ЕИП для проектирования БРЭА на базе информационных систем, рекомендуемых к использованию	Модель данных PDM-системы (классы, их методы и атрибуты). Диаграммы потоков работ для автоматизации деятельности по созданию БРЭА КА. Экранные формы пользовательских интерфейсов PDM-системы. Настройка PDM-системы под специфику приборостроительной отрасли на программном уровне (разработка скриптов). Методы, модели и алгоритмы интеграции программных компонентов ЕИП: PDM-системы и САПР для процессов создания БРЭА КА. Документирование разработанного прототипа ЕИП в виде руководств и пользовательских инструкций
5	Отработка и испытание прототипа ЕИП	Обучение пользователей правилам работы в ЕИП согласно разработанным методикам, моделям и алгоритмам. Тестирование, отладка и внедрение разработанного прототипа ЕИП в отделении проектирования и испытаний БРЭА ОАО «ИСС» в соответствии с ГОСТ 34.601–90 «Автоматизированные системы. Стадии создания»

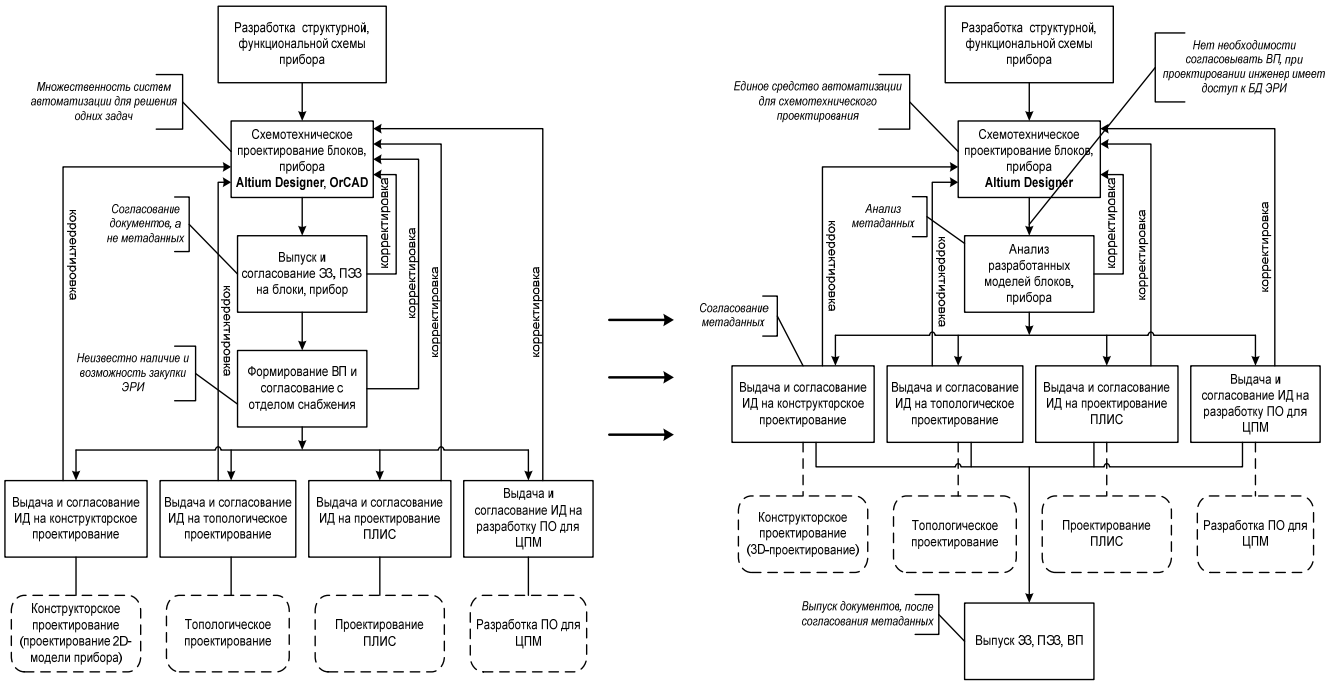


Рис. 2. Схемотехническое проектирование БРЭА КА согласно разработанным моделям «как есть» и «как должно быть»

Структура информационных сущностей при проектировании БРЭА КА. С точки зрения проектирования БРЭА КА, проектирование изделия включает в себя описание в различных САПР электронной структуры, а также электронной и информационной моделей изделия.

Электронная структура изделия (ЭСИ) – это конструкторский документ, содержащий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта и иерархические отношения (связи) между его составными частями и другие данные в зависимости от его назначения (ГОСТ 34.601–90 «Автоматизированные системы. Стадии создания»).

Информационная модель изделия (ИМИ) – это совокупность данных и отношений между ними, описывающая различные свойства реального изделия, интересующие разработчика модели и потенциального или реального пользователя (ГОСТ 2.053–2006 «ЕСКД. Электронная структура изделия. Общие положения»). В свою очередь электронная модель изделия (ЭМИ) – это электронный конструкторский документ, содержащий электронную геометрическую модель детали или сборочной единицы, соответствующие электронные геометрические модели составных частей, свойства, характеристики и другие данные, необходимые для сборки (изготовления) и контроля (ГОСТ 2.052–2006 «ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения»).

Таким образом, ЭМИ является частным случаем ИМИ, поскольку именно ИМИ отражает данные о проектируемой сущности с той или иной точки зрения, например ИМИ электрического или конструкторского проектирования, теплового моделирования и т. д. А в целом ЭСИ и ИМИ являются первичными документами для получения различных конструкторских документов (КД), входящих в основной и полный комплекты КД согласно ГОСТ 2.102–68 «ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов». Изменение этих информационных сущностей влечет изменение остальной КД. Этот факт должен являться базисом для разработки правил управления данными об изделии в рамках ЕИП.

Программные компоненты ЕИП для проектирования БРЭА КА в ОАО «ИСС». На основе анализа текущей деятельности отделения проектирования и испытаний БРЭА КА в ОАО «ИСС» был составлен перечень ИС, рекомендуемых к использованию в рамках ЕИП (табл. 2).

Перед авторами была поставлена задача программной интеграции САПР Altium Designer, которая используется в ОАО «ИСС» для электрического проектирования, с PDM-системой Enovia SmarTeam V5.

Требования к интеграции САПР с PDM-системой в рамках ЕИП. Начальным этапом формирования требований к сопряжению различных ИС в рамках ЕИП является выделение требований согласно специфике области внедрения.

Разработка БРЭА КА включает в себя как электрическое, так и механическое проектирование, которые выполняются с использованием различных САПР. Концепция ЕИП предполагает сопряжение разных САПР и системы управления данными для обеспечения целостности информации об изделии. Выделим следующие основные требования к интеграции информационных систем в рамках ЕИП:

– единое представление изделия, общее для нескольких ИС, т. е. при передаче данных из одной ИС в другую все характеристики изделия должны передаваться автоматически;

– адаптация единого представления изделия для каждой ИС, т. е. одно и то же изделие может быть построено на разных элементных базах в зависимости от специфики ИС;

– исключение дублирования данных;

– автоматическая синхронизация данных в различных ИС в рамках ЕИП;

– автоматическое формирование конструкторских документов;

– накопление данных и опыта, возможность использования данных предыдущих проектов.

В настоящее время под термином «информационная система» подразумевают базу данных (БД) и интерфейс работы с ней [3]. Согласно ГОСТ 34.321–96 «Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель управления данными» различают понятия схемы и базы данных: схема – это описания содержания, структуры и ограничения целостности, используемые для создания БД – набора постоянных данных, определенных с помощью этой схемы.

Основным отличием систем управления данными от систем электронного документооборота является их направленность на проектную специфику деятельности. На этом основана схема данных PDM-системы, которая определяет уникальные для конкретной области применения правила хранения информации в ИС [4]. Разработка изделия выполняется в рамках проекта, который является хранилищем всех связанных с изделием информационных сущностей (ЭСИ, ИМИ, КД).

В терминологии Enovia SmarTeam схема данных называется моделью данных и включает в себя такие понятия, как механизмы, классы и их атрибуты. Таким образом, модель данных Enovia SmarTeam является объектной моделью этой ИС, которая описывает структуру объектов, составляющих систему, их атрибуты, операции, взаимосвязи с другими объектами. Представление информационных сущностей в модели данных PDM-системы с точки зрения объектно-ориентированного подхода лежит в основе интеграции ИС в рамках ЕИП. Это означает, что разработанная в САПР информационная сущность (ИМИ, ЭСИ) должна без потерь экспортироваться в систему управления данными, что обеспечивается наличием в PDM соответствующих контейнеров (классов с необходимым набором атрибутов) (рис. 3, 4).

Таблица 2

Предлагаемые варианты ИС для поддержки процессов создания БРЭА КА

ИС	Функция
Ansys	Расчет механической жесткости и прочности конструкции изделия
See Electrical или E3.Cable	Проектирование 3D-модели кабеля. Монтаж кабелей. Формирование КД на кабели
SolidWorks	Проектирование 3D-модели. Формирование КД на изделие
Altium Designer	Разработка ЭЗ, ПЭЗ. Разработка топологии ПП. Формирование файла *.grb, *.drl. Проведение специальных расчетов, анализов, моделирование. Формирование КД на изделие
PDM-система Enovia SmarTeam V5	Структурированное хранение данных об изделии (ЭСИ, ИМИ, КД), интеграция с вышеперечисленными САПР

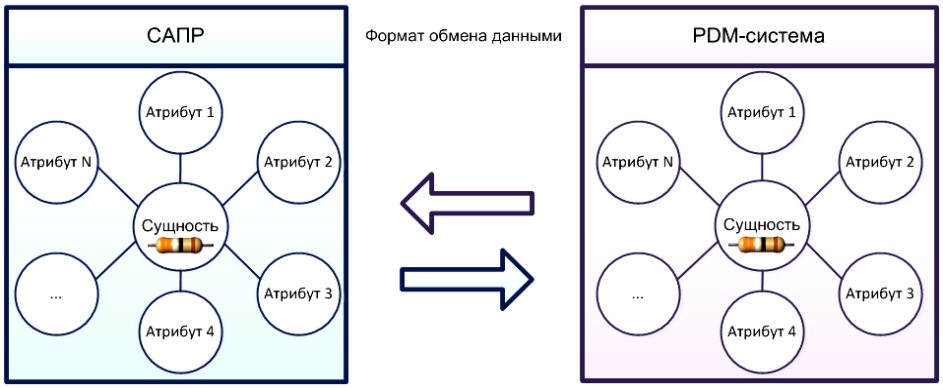


Рис. 3. Схема программной интеграции САПР и PDM-системы в рамках ЕИП

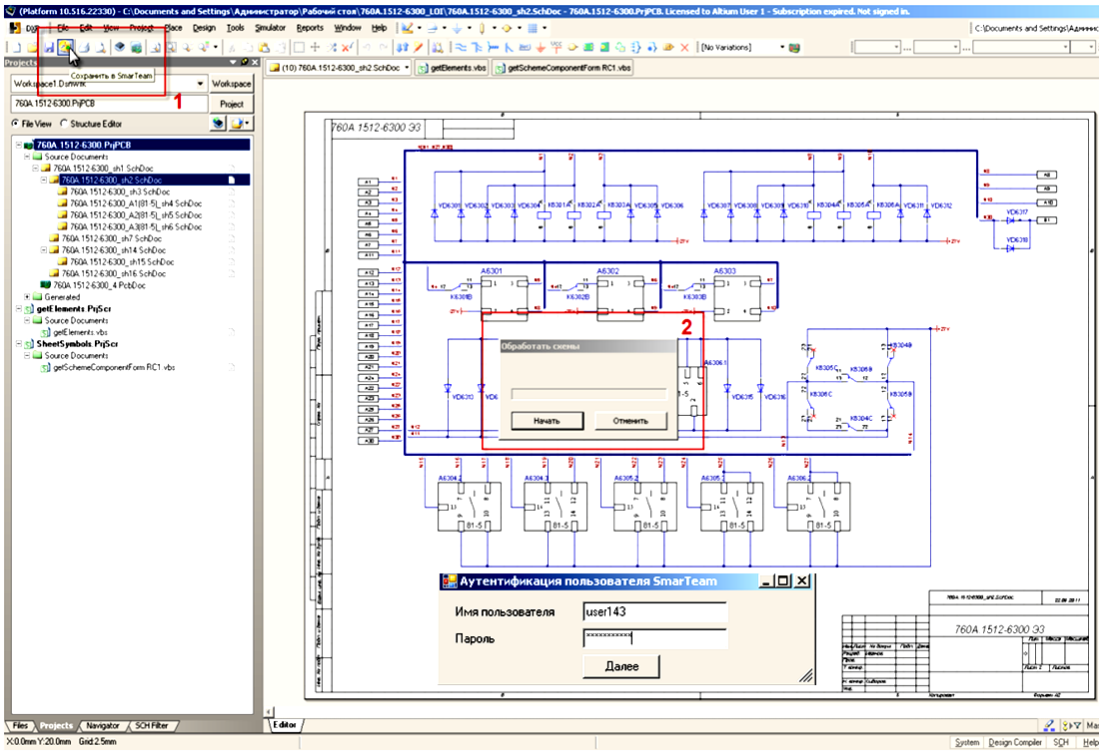


Рис. 4. Экспорт данных (ИМИ, ЭСИ) из САПР Altium Designer в PDM-систему Enovia SmarTeam

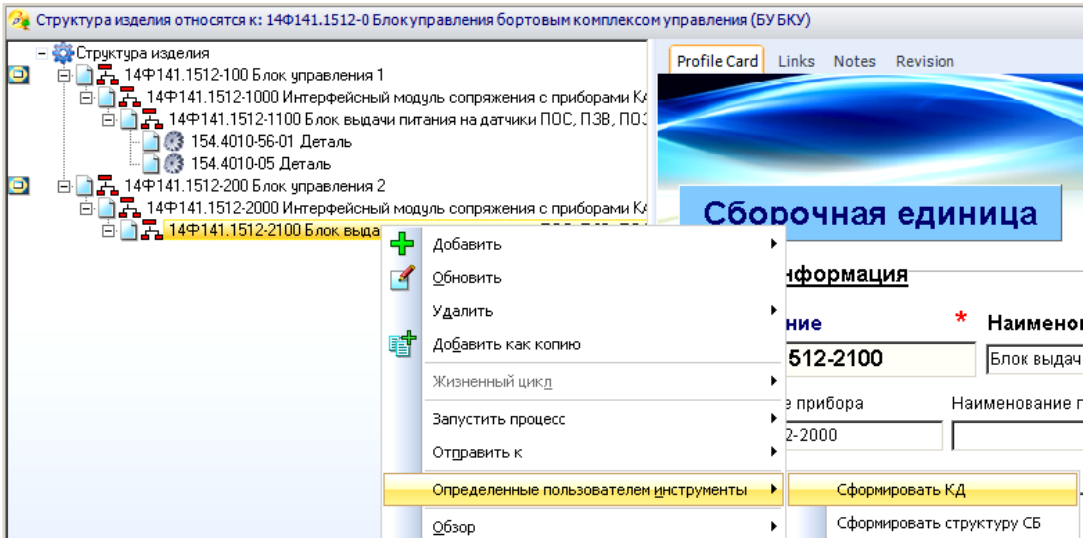


Рис. 5. Команды формирования КД и ЭСИ в PDM-системе Enovia SmarTeam на основе данных, экспортированных из САПР Altium Designer

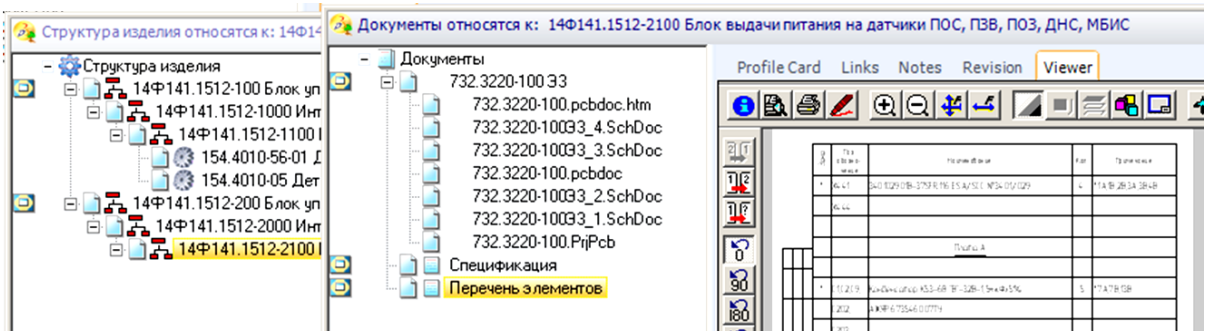


Рис. 6. Отображение во встроенном просмотровщике PDM-системы Enovia SmarTeam конструкторского документа «Перечень элементов», сформированного на основе данных, экспортированных из САПР Altium Designer

Пример разработанной программной интеграции Altium Designer и Enovia SmarTeam. На основе положений, сформулированных в рамках проведенных авторами исследований, была разработана программная система интеграции САПР Altium Designer и PDM Enovia SmarTeam, которая состоит из нескольких модулей и реализует следующие функции:

– чтение данных об электронном изделии из проекта Altium Designer, сохранение этих данных в файл в универсальном простом формате обмена данными JSON (рис. 4);

– проведение аутентификации пользователя, выбор пользователем проекта PDM-системы Enovia SmarTeam и сборочной единицы (рис. 4);

– создание в PDM-системе Enovia SmarTeam объектов классов «Проект Altium» и «Файл Altium» в соответствии с данными, полученными из проекта САПР Altium Designer;

– по запросу пользователя формирование конструкторского документа «Перечень элементов» в формате *.pdf (рис. 5, 6) и структуры выбранной сборочной единицы на основе ИМИ и ЭСИ, разработанных в САПР Altium Designer и экспортированных в PDM-систему Enovia SmarTeam.

Тестирование разработанного прототипа ЕИП проектирования БРЭА КА в ОАО «ИСС» доказало возможность настройки и интеграции различных ИС согласно моделям «как должно быть». Кроме того, результаты выполнения пилотного проекта позволяют выявить направления дальнейшей интеграции программных компонентов ЕИП, например получение различных конфигураций (исполнений) электронного устройства из САПР Altium Designer и их сохранение в файл в формате JSON, автоматический запуск САПР Altium Designer при выгрузке объекта «Проект Altium» из PDM-системы Enovia SmarTeam и т. д.

Однако проект создания ЕИП в отделении проектирования и испытаний БРЭА КА в ОАО «ИСС» не исчерпывается двусторонней интеграцией САПР и PDM. На дальнейших этапах выполнения ОКР необходимо решить задачи организации структурированного хранения различных справочных данных и правил доступа к ним, а также другие задачи, связанные с организацией ЕИП.

Библиографические ссылки

1. Федеральная космическая программа России на 2006–2015 гг. [Электронный ресурс]. URL: http://www.federalspace.ru/main.php?id=24.

2. Ершова Т. Б. Организационные аспекты создания единого информационного пространства предприятия // Трансп. дело России. 2009. № 2. С. 62–65.

3. Информационные технологии : учеб. пособие / А. А. Вичугова, В. Н. Вичугов, Е. А. Дмитриева, Г. П. Цапко ; Том. политехн. ун-т. Томск, 2011.

4. Вичугова А. А., Вичугов В. Н., Дмитриева Е. А. Жизненный цикл документа в информационных системах управления данными // Вестн. науки Сибири. 2011. № 1. С. 328–334.

A. S. Ametova, A. A. Vichugova, V. N. Vichugov, Yu. A. Sukhanova, S. G. Tsapko

PROJECT OF DEVELOPMENT OF UNITED INFORMATION SPACE FOR THE PROCESSES OF GENERATION OF ONBOARD ELECTRONIC EQUIPMENT OF SPACECRAFTS AT JSC «ISS» NAMED AFTER ACADEMICIAN M. F. RESHETNEV»

The authors consider a concept of united information space and describe the stages of its development for the processes of generation of onboard electronic equipment of a spacecraft at JSC «ISS» named after academician M. F. Reshetnev».

Keywords: business processes, integration of information systems.

© Аметова Э. С., Вичугова А. А., Вичугов В. Н., Суханова Ю. А., Цапко С. Г., 2012

УДК 539.374

В. И. Бурмак

ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДАЛГЕБР И ИНВАРИАНТНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Найдены оптимальные системы подалгебр размерности 1, 2 алгебры Ли, допускаемые уравнениями пластичности плоского напряженного состояния в случае медленных нестационарных течений.

Ключевые слова: пластичность, плоское напряженное состояние.

Рассмотрим уравнения, описывающие плоское напряженное состояние в случае медленных нестационарных течений. Уравнения имеют вид

$$\frac{\partial}{\partial t}u=\left(\sqrt{3}\sin\omega\cos 2\varphi-\cos\omega\right)\frac{\partial\omega}{\partial x}+ \\ +\sqrt{3}\sin\omega\sin 2\varphi\frac{\partial\omega}{\partial y}-2\sin\omega\frac{\partial\varphi}{\partial y}, \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}v=\sqrt{3}\sin\omega\sin 2\varphi\frac{\partial\omega}{\partial x}- \\ -\left(\sqrt{3}\sin\omega\cos 2\varphi+\cos\omega\right)\frac{\partial\omega}{\partial y}+2\sin\omega\frac{\partial\varphi}{\partial x}, \tag{2}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}=k\lambda\left(\sqrt{3}\cos\omega+3\sin\omega\cos 2\varphi\right), \tag{3}$$

$$\frac{\partial v}{\partial y}=k\lambda\left(\sqrt{3}\cos\omega-3\sin\omega\cos 2\varphi\right), \tag{4}$$

$$\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}=6k\lambda\sin\omega\sin 2\varphi. \tag{5}$$

Здесь λ – некоторая положительная функция; φ – угол между первым главным направлением тензора напряжения и осью Ox; ω – угол, связанный со значением среднего давления $\sigma=\frac{1}{3}\left(\sigma_1+\sigma_2\right)$, $\cos\omega=\frac{\sqrt{3}\sigma}{2k}$; k – постоянная пластичности; u,v – компоненты вектора скорости; все функции зависят от x,y,t.

Точечные симметрии системы (1)…(5) с использованием методики Ли [1] были найдены ранее [2].

Базис алгебры Ли L_9, порождающей группу непрерывных преобразований, которая допускается системой уравнений (1)…(5), имеет вид

$$X_1=-y\partial_x+x\partial_y-v\partial_u+u\partial_v+\partial_\varphi, \\ X_2=t\partial_t+x\partial_x+y\partial_y-\lambda\partial_\lambda, \\ X_3=t\partial_t+u\partial_u+v\partial_v+\lambda\partial_\lambda, \\ X_4=-y\partial_u+x\partial_v,\ \ X_5=\partial_y,\ X_6=\partial_x, \\ X_7=\partial_v,\ \ X_8=\partial_u,\ \ X_9=\partial_t. \tag{6}$$

Таблица коммутаторов алгебры Ли L_9 будет следующей (табл. 1).

Таблица 1

Таблица коммутаторов

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	0	0	0	0	X_6	$-X_5$	X_8	$-X_7$	0
X_2	0	0	0	X_4	$-X_5$	$-X_6$	0	0	$-X_9$
X_3	0	0	0	$-X_4$	0	0	$-X_7$	$-X_8$	$-X_9$
X_4	0	$-X_4$	X_4	0	X_8	$-X_7$	0	0	0
X_5	$-X_6$	X_5	0	$-X_8$	0	0	0	0	0
X_6	X_5	X_6	0	X_7	0	0	0	0	0
X_7	$-X_8$	0	X_7	0	0	0	0	0	0
X_8	X_7	0	X_8	0	0	0	0	0	0
X_9	0	X_9	X_9	0	0	0	0	0	0

Анализ табл. 1 показывает, что алгебра Ли L_9 разрешима и имеет следующую структуру:

– максимальные абелевы идеалы

$$N_8^1 = \{X_1, X_2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9\},$$

$$N_8^2 = \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9\};$$

– центр $S = \{0\}$;

– производная алгебра

$$L_9' = \{X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9\};$$

– общий вид одномерной подалгебры:

$$X = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \\ + \alpha_6 X_6 + \alpha_7 X_7 + \alpha_8 X_8 + \alpha_9 X_9, \quad (7)$$

где $a_i, i = \overline{1,9}$ – константы.

Построим оптимальную систему подалгебр размерности 1 путем поиска наиболее простых неподобных подалгебр X (7), т. е. тех подалгебр, которые под действием внутренних автоморфизмов не переводятся друг в друга.

Так, оптимальная система подалгебр размерности $1 - \theta_1$ будет следующей:

I. $\alpha X_1 + X_2 + X_3 \pm X_4$.

II. $\alpha X_1 + X_2 - X_3 \pm X_9$.

III. $X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3$.

IV. $X_1 \pm X_4 + \alpha X_9$.

V. $X_4 \pm X_5 + \alpha X_9$.

VI. $X_5 \pm X_7 + \alpha X_9$.

VII. $X_1 \pm X_9$.

VIII. $X_2 + \alpha X_3$.

IX. $X_2 \pm X_7$.

X. $X_3 \pm X_5$.

XI. $X_4 \pm X_9$.

XII. $X_5 \pm X_9$.

XIII. $X_7 \pm X_9$.

XIV. X_3.

XV. X_4.

XVI. X_5.

XVII. X_7.

XVIII. X_9.

Здесь α, β, γ – произвольные постоянные, причем разным значениям постоянных соответствуют неподобные подалгебры.

Инвариантные решения, построенные на θ_1, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Вид инвариантных решений ранга 2

I	$\lambda = tf_1(\xi,\eta),\ \varphi = f_2(\xi,\eta) + \frac{\alpha}{2}\ln t,\ u_r = rf_3(\xi,\eta),\ u_\theta = rf_4(\xi,\eta) + r\ln r,\ \xi = e^\theta t^{-\alpha/2},\ \eta = e^\theta r^{-\alpha}$
II	$\lambda = \lambda(\xi,\eta),\ \varphi = f_1(\xi,\eta) + \theta,\ u_r = r^{-1} f_2(\xi,\eta),\ u_\theta = rf_3(\xi,\eta),\ \xi = \theta \mp t,\ \eta = e^{\mp t} r$
III	$\lambda = tf_1(\xi,\eta),\ \varphi = f_2(\xi,\eta) + \frac{1}{\beta+\gamma}\ln t,\ u_r = r^{\gamma/\beta} f_3(\xi,\eta),\ u_\theta = r^{\gamma/\beta} f_4(\xi,\eta),\ \xi = e^{-\theta(\beta+\gamma)} t,\ \eta = t^{-\beta_1} r^{(\beta+\gamma)}$
IV	$\lambda = \lambda(\xi,r),\ \varphi = \theta + f_1(\xi,r),\ u_r = u_r(\xi,r),\ u_\theta = f_2(\xi,r) \pm \theta r,\ \xi = t - \alpha\theta$
V	$\lambda = \lambda(\xi,x),\ \varphi = \varphi(\xi,x),\ v = \frac{f_1(\xi,x)}{\alpha} + \frac{tx}{\alpha},\ u = f_2(\xi,x) \mp \frac{y^2}{2},\ \xi = t \mp \alpha y$
VI	$\lambda = \lambda(\xi,x),\ \varphi = \varphi(\xi,x),\ v = f_1(\xi,x) \pm y,\ u = u(\xi,x),\ \xi = \alpha y - t$
VII	$\lambda = \lambda(\xi,r),\ \varphi = \theta + f_1(\xi,r),\ u_r = u_r(\xi,r),\ u_\theta = u_\theta(\xi,r),\ \xi = \theta \mp t$
VIII	$\lambda = tf_1(\xi,\theta),\ \varphi = \varphi(\xi,\theta),\ u_r = r^\alpha f_2(\xi,\theta),\ u_\theta = r^\alpha f_3(\xi,\theta),\ \xi = rt^{-1/(1+\alpha)}$
IX	$\lambda = f_1(\xi,\eta)t^{-1},\ \varphi = \varphi(\xi,\eta),\ v = f_2(\xi,\eta) \pm \ln t,\ u = u(\xi,\eta),\ \xi = \frac{t}{x},\ \eta = \frac{t}{y}$
X	$\lambda = tf_1(\xi,x),\ \varphi = \varphi(\xi,x),\ u = tf_2(\xi,x),\ v = tf_3(\xi,x),\ \xi = te^{\mp y}$

Окончание табл. 2

XI	$\lambda=\lambda(x,y),\ \varphi=\varphi(x,y),\ v=f_1(x,y)\mp xt,\ \ u=f_2(x,y)\pm ty$
XII	$\lambda=\lambda(x,y+t),\ \varphi=\varphi(x,y+t),\ v=v(x,y+t),\ \ u=u(x,y+t)$
XIII	$\lambda=\lambda(x,y),\ \varphi=\varphi(x,y),\ v=f_1(x,y)\pm t,\ \ u=u(x,y)$
XIV	$\lambda=tf_1(x,y),\ \varphi=\varphi(x,y),\ u=tf_2(x,y),\ \ v=tf_3(x,y)$
XV	Инвариантного решения нет
XVI	$\lambda=\lambda(x,t),\ \varphi=\varphi(x,t),\ v=v(x,t),\ \ u=u(x,t)$
XVII	Инвариантного решения нет
XVIII	$\lambda=\lambda(x,y),\ \varphi=\varphi(x,y),\ v=v(x,y),\ \ u=u(x,y)$

Примечание. В табл. 2 приняты следующие обозначения: $f_i, i=\overline{1,4}$ – произвольные функции; r и θ – полярные координаты: $x=r\cos\theta,\ y=r\sin\theta$; u_r, u_θ – компоненты вектора скорости: $u=u_r\cos\theta-u_\theta\sin\theta,\ v=u_r\sin\theta+u_\theta\cos\theta$.

Оптимальная система подалгебр размерности $2-\theta_2$ имеет следующий вид:

1. $\langle \alpha X_1+X_2+X_3, X_1+\alpha_4 X_4\rangle$.
2. $\langle X_1\pm X_4, X_4+\alpha_9 X_9\rangle$.
3. $\langle X_1\pm X_4, X_9\rangle$.
4. $\langle X_1\pm X_9, \alpha_1 X_1+X_2+X_3+\alpha_4 X_4\rangle$.
5. $\langle X_1\pm X_9, X_4+\alpha_9 X_9\rangle$.
6. $\langle X_2, X_5+\alpha_9 X_9\rangle$.
7. $\langle X_2+\alpha_3 X_3, X_1+\alpha_2 X_2\rangle$.
8. $\langle X_2+\alpha_3 X_3, X_7\rangle$.
9. $\langle X_2+X_3, X_5+\alpha_7 X_7\rangle$.
10. $\langle X_2+2X_3, X_4+\alpha_5 X_5\rangle$.
11. $\langle X_2+X_3\pm X_4, X_7\rangle$.
12. $\langle X_2-X_3\pm X_9, X_1+\alpha_9 X_9\rangle$.
13. $\langle X_2\pm X_7, X_4\rangle$.
14. $\langle X_2\pm X_7, X_5+\alpha_9 X_9\rangle$.
15. $\langle X_2\pm X_7, X_6+\alpha_5 X_5+\alpha_9 X_9\rangle$.
16. $\langle X_2\pm X_7, X_7+\alpha_8 X_8\rangle$.
17. $\langle X_2\pm X_7, X_8\rangle$.
18. $\langle X_2\pm X_7, X_9\rangle$.
19. $\langle X_3, X_1+\alpha_2 X_2\rangle$.
20. $\langle X_3, X_2\rangle$.
21. $\langle X_3, X_4+\alpha_9 X_9\rangle$.
22. $\langle X_3, X_7+\alpha_9 X_9\rangle$.
23. $\langle X_3\pm X_5, X_3+\alpha_6 X_6\rangle$.
24. $\langle X_3\pm X_5, X_4\rangle$.
25. $\langle X_3\pm X_5, X_6\rangle$.
26. $\langle X_3\pm X_5, X_7+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
27. $\langle X_3\pm X_5, X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
28. $\langle X_4, X_1+\alpha_2 X_2+\alpha_3 X_3\rangle$.
29. $\langle X_4, \alpha_1 X_1+X_2-X_3+\alpha_9 X_9\rangle$.
30. $\langle X_4, X_2+\alpha_3 X_3\rangle$.
31. $\langle X_4, X_7+\alpha_9 X_9\rangle$.
32. $\langle X_4\pm X_5+\alpha X_9, X_7+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
33. $\langle X_4\pm X_5+\alpha X_9, X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
34. $\langle X_4\pm X_9, X_1+\alpha_3 X_3\rangle$.
35. $\langle X_4\pm X_9, X_7+\alpha_9 X_9\rangle$.
36. $\langle X_5, X_2+\alpha_3 X_3+\alpha_6 X_6\rangle$.
37. $\langle X_5, X_2-X_3+\alpha_6 X_6+\alpha_9 X_9\rangle$.
38. $\langle X_5, X_3+\alpha_6 X_6\rangle$.
39. $\langle X_5, X_6+\alpha_7 X_7+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
40. $\langle X_5, X_7+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
41. $\langle X_5, X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
42. $\langle X_5\pm X_7+\alpha X_9, X_6+\alpha_7 X_7+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
43. $\langle X_5\pm X_7+\alpha X_9, X_7+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
44. $\langle X_5\pm X_7+\alpha X_9, X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
45. $\langle X_5\pm X_9, X_2+\alpha_7 X_7+\alpha_8 X_8\rangle$.
46. $\langle X_5\pm X_9, X_6+\alpha_7 X_7+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
47. $\langle X_5\pm X_9, X_7+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
48. $\langle X_5\pm X_9, X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
49. $\langle X_7, X_2+\alpha_8 X_8\rangle$.
50. $\langle X_7, X_4+\alpha_5 X_5+\alpha_6 X_6+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
51. $\langle X_7, X_5+\alpha_6 X_6+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
52. $\langle X_7, X_6+\alpha_8 X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
53. $\langle X_7, X_8+\alpha_9 X_9\rangle$.
54. $\langle X_7, X_9\rangle$.
55. $\langle X_7\pm X_9, X_3+\alpha_5 X_5+\alpha_6 X_6\rangle$.
56. $\langle X_7\pm X_9, X_4+\alpha_5 X_5+\alpha_6 X_6+\alpha_9 X_9\rangle$.
57. $\langle X_7\pm X_9, X_5+\alpha_6 X_6+\alpha_7 X_7+\alpha_8 X_8\rangle$.
58. $\langle X_7\pm X_9, X_6+\alpha_7 X_7+\alpha_8 X_8\rangle$.

59. $\langle X_7 \pm X_9, X_7 + \alpha_8 X_8 \rangle$.

60. $\langle X_7 \pm X_9, X_8 + \alpha_9 X_9 \rangle$.

61. $\langle X_9, X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 \rangle$.

62. $\langle X_9, \alpha_1 X_1 + X_2 + X_3 + \alpha_4 X_4 \rangle$.

63. $\langle X_9, X_2 + \alpha_3 X_3 \rangle$.

64. $\langle X_9, X_3 + \alpha_5 X_5 \rangle$.

65. $\langle X_9, X_4 + \alpha_5 X_5 \rangle$.

66. $\langle X_9, X_5 + \alpha_7 X_7 \rangle$.

Здесь $\alpha, \alpha_j, j = \overline{1,9}$ – произвольные постоянные, причем разным значениям постоянных соответствуют неподобные подалгебры.

Инвариантные решения, построенные на θ_2, будут следующими:

1. $\xi = \dfrac{r}{\sqrt{t}}$, $u_r = f_1(\xi) r$,

$u_\theta = r\left(f_2(\xi) + \alpha_4 \theta - \alpha\alpha_4 \ln r\right)$, $\lambda = \lambda(\xi)$, $\varphi = f_3(\xi) + \theta$.

2. $u_r = u_r(r)$, $u_\theta = \dfrac{1}{\alpha_9}\left(f_2(r) \pm rt \pm r(\alpha_9 - \alpha)\theta\right)$,

$\lambda = \lambda(r)$, $\varphi = f_2(r) + \theta$.

3. $u_r = u_r(r)$, $u_\theta = f_2(r) \pm r\theta$, $\lambda = \lambda(r)$,

$\varphi = f_2(r) + \theta$.

4. $\xi = \dfrac{2t + \alpha_9 \mp 2\theta}{r}$, $u_r = f_1(\xi) r$,

$u_\theta = r\left(f_2(\xi) + \alpha_4 \ln r\right)$, $\lambda = \lambda(\xi)$, $\varphi = f_3(\xi) + \theta$.

5. $u_r = u_r(r)$, $u_\theta = \dfrac{1}{\alpha_9}\left(f_2(r) + rt \mp r\theta\right)$, $\lambda = \lambda(r)$,

$\varphi = f_2(r) + \theta$.

6. $\xi = \dfrac{\alpha_9 y - t}{x}$, $u = u(\xi)$, $v = v(\xi)$, $\lambda = \dfrac{1}{x} f_1(\xi)$,

$\varphi = \varphi(\xi)$.

7. $\xi = \ln t - (1 + \alpha_3)\ln r + \alpha_2\alpha_3\theta$,

$u_r = f_1(\xi) r^{\alpha_3} e^{-\alpha_2\alpha_3\theta}$, $u_\theta = f_2(\xi) r^{\alpha_3} e^{-\alpha_2\alpha_3\theta}$,

$\lambda = f_3(\xi) r^{\alpha_3 - 1} e^{-\alpha_2\alpha_3\theta}$, $\varphi = f_4(\xi) + \theta$.

9. $\xi = \dfrac{x}{t}$, $u = f_1(\xi) t$, $v = f_2(\xi) t \pm \alpha_7 y$, $\lambda = \lambda(\xi)$,

$\varphi = \varphi(\xi)$.

10. $\xi = \dfrac{x^3}{t}$, $u = \dfrac{1}{2\alpha_5}\left(f_1(\xi)\dfrac{1}{x^2} + y^2\right)$,

$v = \dfrac{1}{\alpha_5}\left(f_2(\xi)\dfrac{1}{x^2} + xy\right)$, $\lambda = \dfrac{1}{x} f_3(\xi)$, $\varphi = \varphi(\xi)$.

12. $\xi = t - \alpha \ln r - \alpha_9\theta$, $u = \dfrac{1}{r} f_1(\xi)$, $v = \dfrac{1}{r} f_2(\xi)$,

$\lambda = \dfrac{1}{r^2} f_3(\xi)$, $\varphi = f_4(\xi) + \theta$.

14. $\xi = \dfrac{\alpha_9 y - t}{x}$, $u = u(\xi)$, $v = f_1(\xi) \pm \ln x$,

$\lambda = \dfrac{1}{x} f_2(\xi)$, $\varphi = \varphi(\xi)$.

15. $\xi = \dfrac{1 - \alpha_9 \dfrac{x}{t}}{\alpha_5 - \alpha_9 \dfrac{y}{t}}$, $u = u(\xi)$,

$v = f_1(\xi) \mp \ln\left(\dfrac{1}{\alpha_9 x - t} f_2(\xi)\right)$, $\lambda = \dfrac{1}{\alpha_9 x - t} f_2(\xi)$,

$\varphi = \varphi(\xi)$.

18. $\xi = \dfrac{x}{y}$, $u = u(\xi)$, $v = f_1(\xi) \pm \ln x$, $\lambda = \dfrac{1}{x} f_2(\xi)$,

$\varphi = \varphi(\xi)$.

19. $\xi = \beta\theta - \ln r$, $u_r = \dfrac{t}{e^\theta} f_1(\xi)$, $u_\theta = \dfrac{t}{e^\theta} f_2(\xi)$,

$\lambda = f_3(\xi) t$, $\varphi = f_4(\xi) + \theta$.

20. $\xi = \dfrac{x}{y}$, $u = \dfrac{t}{x} f_1(\xi)$, $v = \dfrac{t}{x} f_2(\xi)$, $\lambda = \dfrac{t}{x^2} f_3(\xi)$,

$\varphi = \varphi(\xi)$.

23. $\xi = \ln t \mp y - \alpha_6 x$, $u = f_1(\xi) t$, $v = f_2(\xi) t$,

$\lambda = f_3(\xi) t$, $\varphi = \varphi(\xi)$.

25. $\xi = \ln t \mp y$, $u = f_1(\xi) t$, $v = f_2(\xi) t$, $\lambda = f_3(\xi) t$,

$\varphi = \varphi(\xi)$.

26. $u = f_1(x) e^{\pm y} + \dfrac{\alpha_8}{\alpha_9}\left(f_2(x) e^{\pm y} + t\right)$,

$v = \dfrac{1}{\alpha_9}\left(f_2(x) e^{\pm y} + t\right)$, $\lambda = f_3(x) e^{\pm y}$, $\varphi = \varphi(x)$.

27. $u = \dfrac{1}{\alpha_9}\left(f_1(x) e^{\pm y} + t\right)$, $v = f_2(x) e^{\pm y}$,

$\lambda = f_3(x) e^{\pm y}$, $\varphi = \varphi(x)$.

32. $u = \dfrac{1}{\alpha_9}\left(f_1(x) + \alpha_8 t\right) \mp \dfrac{(y - \beta_8)^2}{2}$,

$v = \dfrac{1}{\alpha_9}\left(f_2(x) + t\right) + (x + \beta_7) y$, $\lambda = \lambda(x)$, $\varphi = \varphi(x)$.

33. $u = \dfrac{1}{\alpha_9}\left(f_1(x) + t \mp \alpha y\right)$, $v = f_2(x) \pm xy$,

$\lambda = \lambda(x)$, $\varphi = \varphi(x)$.

34. $u_r = f_1(r) e^{\alpha_3\theta}$, $u_\theta = f_2(r) e^{\alpha_3\theta} \pm rt$,

$\lambda = f_3(r) e^{\alpha_3\theta}$, $\varphi = f_4(r) + \theta$.

36. $\xi = t(1 + \alpha_3)\ln(x + \alpha_6)$, $u = f_1(\xi) - \alpha_3 \ln(x + \alpha_6)$,

$v = f_2(\xi)\left(f_1(\xi) - \alpha_3 \ln(x + \alpha_6)\right)$, $\lambda = f_3(\xi) e^{\left(1 - \frac{2}{\alpha_3 + 1}\right)t}$,

$\varphi = \varphi(\xi)$.

37. $\xi = \alpha_9 \ln(x+\alpha_6) - t,\ u = \dfrac{1}{(x+\alpha_6)} f_1(\xi),$

$v = \dfrac{1}{(x+\alpha_6)} f_2(\xi),\ \lambda = \dfrac{1}{(x+\alpha_6)^2} f_3(\xi),\ \varphi = \varphi(\xi).$

38. $\xi = x - \alpha_6 \ln t,\ u = f_1(\xi)t,\ v = f_2(\xi)t,$

$\lambda = f_3(\xi)t,\ \varphi = \varphi(\xi).$

39. $\xi = \alpha_9 x - t,\ u = f_1(\xi) - \alpha_8 x,\ v = f_2(\xi) - \alpha_7 x,$

$\lambda = \lambda(\xi),\ \varphi = \varphi(\xi).$

40. $u = \dfrac{1}{\alpha_9}(f_1(x) + \alpha_8 t),\ v = \dfrac{1}{\alpha_9}(f_2(x) + t),$

$\lambda = \lambda(x),\ \varphi = \varphi(x).$

41. $u = \dfrac{1}{\alpha_9}(f_1(x) + t),\ v = v(x),\ \lambda = \lambda(x),$

$\varphi = \varphi(x).$

42. $\xi = \alpha y + \alpha_9 x - t,\ u = \dfrac{1}{\alpha_8}(f_1(\xi) + x),$

$v = f_2(\xi) - \alpha_7 x \mp y,\ \lambda = \lambda(\xi),\ \varphi = \varphi(\xi).$

43. $u = f_1(x) + \dfrac{\alpha_8}{\alpha_9}(f_2(x) + t),$

$v = \dfrac{1}{\alpha_9}(f_2(x) + t) \pm y,\ \lambda = \lambda(x),\ \varphi = \varphi(x).$

44. $u = \dfrac{1}{\alpha_9}(f_1(x) + t - \alpha y),\ v = f_2(x) \pm y,$

$\lambda = \lambda(x),\ \varphi = \varphi(x).$

45. $\xi = \dfrac{y \mp t}{x},\ u = \dfrac{1}{\alpha_7}\left(f_1(\xi) + \alpha_8\left(f_2(\xi) - \alpha_7 \ln\left(\dfrac{1}{x} f_3(\xi)\right)\right)\right),$

$v = f_2(\xi) - \alpha_7 \ln\left(\dfrac{1}{x} f_3(\xi)\right),\ \lambda = \dfrac{1}{x} f_3(\xi),\ \varphi = \varphi(\xi).$

46. $\xi = y \mp t \mp \alpha_9 x,\ u = f_1(\xi) - \alpha_8 x,$

$v = f_2(\xi) - \alpha_7 x,\ \lambda = \lambda(\xi),\ \varphi = \varphi(\xi).$

47. $u = f_1(x) \mp y + t,\ v = \dfrac{\pm 1}{\alpha_9}(f_2(x) + y \mp t),$

$\lambda = \lambda(x),\ \varphi = \varphi(x).$

48. $u = \dfrac{1}{\alpha_9}(f_1(x) \pm y - t),\ v = v(x),\ \lambda = \lambda(x),$

$\varphi = \varphi(x).$

55. $\xi = \alpha_6 y - \alpha_5 x,\ u = f_1(\xi) e^{x-\alpha_6},$

$v = f_2(\xi) e^{x-\alpha_6} \pm t,\ \lambda = f_3(\xi) e^{x-\alpha_6},\ \varphi = \varphi(\xi).$

56. $\xi = \alpha_6 y - \alpha_5 x,\ u = \dfrac{1}{\alpha_5}\left(f_1(\xi) - \dfrac{y^2}{2}\right),$

$v = \dfrac{1}{\alpha_5 \alpha_6}\left(f_2(\xi) + \alpha_5 \dfrac{x^2}{2} \mp \alpha_6 \alpha_9 y\right) \pm t,\ \lambda = \lambda(\xi),\ \varphi = \varphi(\xi).$

57. $\xi = \alpha_6 y - x,\ u = f_1(\xi) + \alpha_8 y,\ v = f_2(\xi) \mp t + \alpha_7 y,$

$\lambda = \lambda(\xi),\ \varphi = \varphi(\xi).$

58. $u = f_1(y) + \alpha_8 x,\ v = f_2(y) \pm t + \alpha_7 x,\ \lambda = \lambda(y),$

$\varphi = \varphi(y).$

61. $\xi = \alpha_1 \theta - \ln r,\ u_r = f_1(\xi) r^{\alpha_3/\alpha_2},\ u_\theta = f_2(\xi) r^{\alpha_3/\alpha_2},$

$\lambda = f_3(\xi) e^{(\alpha_3 - \alpha_2)\theta},\ \varphi = f_4(\xi) + \theta.$

62. $\xi = \dfrac{e^{\alpha_2 \theta}}{r},\ u_r = f_1(\xi) r,\ u_\theta = f_2(\xi) r + \alpha_4 r \ln r,$

$\lambda = \lambda(\xi),\ \varphi = f_3(\xi) + \theta.$

63. $\xi = \dfrac{x}{y},\ u = f_1(\xi) x^{\alpha_3},\ v = f_2(\xi) x^{\alpha_3},$

$\lambda = f_3(\xi) x^{\alpha_3 - 1},\ \varphi = \varphi(\xi).$

64. $u = f_1(x) e^{y/\alpha_5},\ v = f_2(x) e^{y/\alpha_5},\ \lambda = f_3(x) e^{y/\alpha_5},$

$\varphi = \varphi(x).$

65. $u = \dfrac{1}{\alpha_5}\left(f_1(x) - \dfrac{y^2}{2}\right),\ v = \dfrac{1}{\alpha_5}(f_2(x) + xy),$

$\lambda = \lambda(x),\ \varphi = \varphi(x).$

66. $u = u(x),\ v = f_2(x) + \alpha_7 y,\ \lambda = \lambda(x),\ \varphi = \varphi(x).$

Здесь $f_i, i = \overline{1,4}$ – произвольные функции. На подалгебрах 11, 13, 16, 17, 21, 22, 28, 29, 30, 31, 35, 49…54, 60 инвариантные решения нельзя повторить в силу критерия инвариантности [1].

Библиографические ссылки

1. Киряков П. П., Сенашов С. И., Яхно А. Н. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений. Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, 2001.

2. Бурмак В. И. Симметрии и точные решения уравнений пластичности плоского напряженного состояния // Молодежь и наука : материалы VII Всерос. науч.-техн. конф. Красноярск, 2011. С. 41–46.

V. I. Burmak

OPTIMAL SYSTEMS OF SUBALGEBRAS ADMITTED BY EQUATIONS OF PLASTICITY

In the article the author presents optimal systems of subalgebras of 1, 2 dimentionality of Lie algebra, accepted with equations of plane stress plasticity, in the case of lag unsteady flow.

Keywords: plasticity, state of plane stress.

© Бурмак В. И., 2012

УДК 629.78.054:621.396.018

В. Н. Жариков, А. В. Пичкалев

ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Современная бортовая радиоэлектронная аппаратура (БА), использующая программируемые логические интегральные схемы, микроконтроллеры, встроенные вычислительные модули и т. д., требует специальных методов отладки, поскольку в ее состав вводится дополнительная нематериальная составляющая – программное обеспечение (ПО). Отработка ПО осложняется тем, что некоторые ошибки его разработки, приводящие к сбоям, проявляются только в процессе длительного функционирования БА. Для выявления этих сбоев необходима специальная аппаратура по обеспечению долговременного прогона ПО, имитирующая условия функционирования БА во время длительной эксплуатации.

Ключевые слова: бортовая аппаратура, программное обеспечение, отработка, эмуляция, интерфейсы.

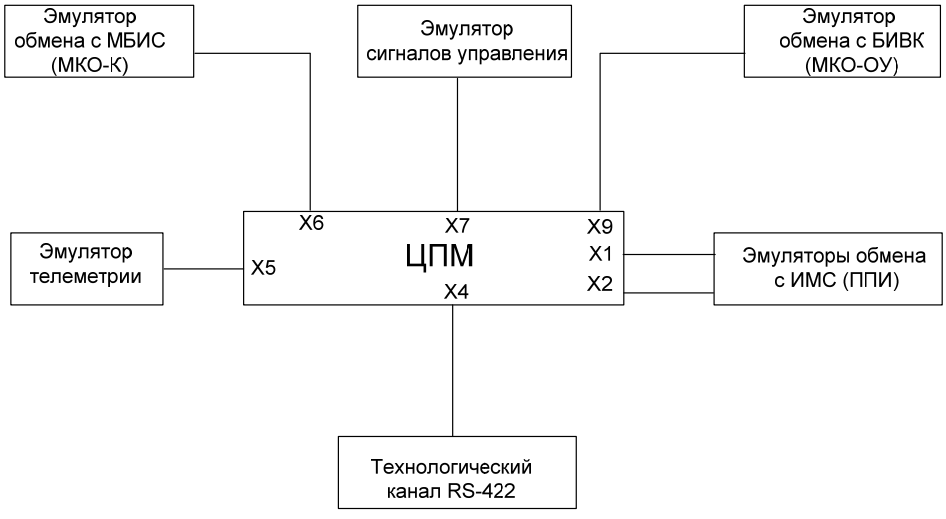
В настоящее время графики изготовления аппаратуры современных космических аппаратов (КА) для проведения отработочных испытаний и комплектации штатных изделий отличаются исключительно высокой интенсивностью, поэтому обеспечение отработки функциональной логики и разработанного ПО для бортовой аппаратуры (БА) на более ранних этапах является крайне важным. При этом следует иметь в виду то, что при испытаниях серийных приборов со встроенным процессором в цехе-изготовителе отрабатывается не более 30 % всех возможных вариантов функционирования ПО.

Комплексные испытания дают не более 70 % полноты проверки. И только специальные отработочные испытания ПО на базе реализованных математических моделей функциональных блоков, интерфейсных модулей сопряжения и приборов, обеспечивающие проверки на все предполагаемые ситуации эксплуатации КА, способны гарантировать 100%-й результат, в том числе проведение анализа поведения БА в различных аварийных ситуациях в процессе эксплуатации КА.

Для проведения специальных программных отработочных испытаний (ПОИ) приборов с вычислителями в отделе проектирования и испытаний бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) систем управления КА ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» создан наземный отладочный комплекс (НОК) для отработки бортового ПО, который не только ускоряет процесс ПОИ, но и позволяет имитировать различные нештатные ситуации работы БА (в том числе для исследования всевозможных отказов) [1].

Наземный отладочный комплекс разработак на основе международного магистрально-модульного стандарта CompactPCI/PXI [2].

Аппаратура НОК имитирует входные сигналы, поступающие на процессор бортовой аппаратуры, и регистрирует его выходные сигналы, эмулируя работу приборов в составе КА (см. рисунок). Отработка ПО без использования реальных технических средств позволяет имитировать различные ситуации без изменения аппаратного состава схемы отработочных испытаний, исключая риск выхода из строя аппаратных средств НОК и самой РЭА.



Функциональная схема НОК:
ЦПМ – центральный приборный модуль

Разработка специальных программ испытаний ПО на эмуляторах позволяет довести до максимальной полноту проверок всех предполагаемых ситуаций, возможных во время штатной работы приборов в составе КА. Результаты исследования работы ПО при имитации различных нештатных ситуаций могут быть использованы для объяснения работы бортовой РЭА в условиях полета, когда аппаратура недоступна для непосредственного наблюдения и контроля.

Все эмуляторы представляют собой специально разработанные программно-технические устройства, образующие единый аппаратно-программный комплекс динамической отработки ПО РЭА в режиме реального времени. Отработка ПО осуществляется на технологическом процессоре – центральном приборном модуле (ЦПМ), выполненном по штатной документации. Аппаратура НОК моделирует внешнюю среду.

В настоящее время аппаратно-программная эмуляция интерфейсов связи, как правило, выполняется с помощью программируемых контроллеров с более или менее жесткой логикой и схемной реализацией технических решений. Это облегчает программирование, но серьезно затрудняет модернизацию эмулятора при каких-либо изменениях в интерфейсах.

В существующей версии НОК эта проблема решена с помощью специального модуля цифрового ввода-вывода с программируемой интегральной логической схемой (ПЛИС). Эмуляция канала управления ИМС и обмена данными процессора с моделями их функционирования основана на программировании ПЛИС с помощью пакета LabWIEW FPGA. В библиотеку LabWIEW FPGA Module встраивается функционирующий по алгоритму универсальной модели ИМС проект, который разработан в схемотехническом редакторе XILINX [3]. В результате будет получен аппаратный программируемый контроллер с достаточно легко меняемой логикой функционирования. Подобную схемную реализацию технических решений можно назвать наилучшей, если в ней участвует высококвалифицированный инженер-схемотехник с соответствующим опытом работы в области программирования ПЛИС.

В вычислительной технике достаточно давно использовался способ реализации параллельных интерфейсов на программируемых TTL-регистрах ввода-вывода.

Классическим примером такого TTL-регистра является параллельный порт ПЭВМ типа IBM PC, который программируется для управления соответствующим подключенным к нему устройством (принтером, сканером или интерфейсом связи между компьютерами) по мере необходимости [4]. Падение интереса к подобным решениям было связано с резким увеличением скорости обмена современных интерфейсов, от которых TTL-регистры на какой-то момент существенно отстали.

Однако в настоящее время производители электронного оборудования предоставляют аппаратуру, способную программно генерировать импульсы с частотой в десятки и сотни мегагерц. Именно на основе таких высокоскоростных TTL-регистров ввода-вывода стала возможной реализация НОК с эмуляцией канала управления и обмена данными под управлением операционной системы (ОС) реального времени (РВ).

Сигналы внутриприборного интерфейса БА подаются через кабель на регистр ввода-вывода, где они фиксируются, расшифровываются и откуда поступают на обработку в запущенную на промышленном компьютере виртуальную модель ИМС. На основе полученных данных формируется ответ для процессора, который затем через TTL-регистр ввода-вывода передается по протоколу внутриприборного интерфейса.

Главным достоинством использования высокоскоростных TTL-регистров ввода-вывода является относительно низкая себестоимость разработки эмулятора интерфейса на их основе по сравнению с модулями цифрового ввода-вывода с ПЛИС, а также то обстоятельство, что для этого требуется только квалифицированный программист, а не инженер-системотехник. И даже повышенные требования к компьютеру и необходимость использования ОС РВ в настоящее время не являются серьезными недостатками, так как вычислительная техника с каждым годом одновременно с увеличением мощности становится все более дешевой, а обучить программиста работе в режиме реального времени намного проще, чем схемотехника программированию ПЛИС.

Пожалуй, единственным недостатком этой реализации эмулятора интерфейса является то, что для ряда сверхскоростных интерфейсов невозможно использование доступных на данный момент высокоскоростных TTL-регистров ввода-вывода. Такие интерфейсы лучше эмулировать модулями с ПЛИС, а высокая себестоимость в этом случае уже не будет иметь особого значения.

Таким образом, НОК способен имитировать обмен по любому интерфейсу процессора БА в режиме реального времени. Это позволяет использовать НОК в качестве основы для специальных рабочих мест (РМ) долговременного прогона (ДП) БА, на которых отрабатывается процесс непрерывного бессбойного функционирования бортового ПО длительностью до 90 сут, так как отвлекать на такое длительное время штатное цеховое испытательное оборудование невозможно ни технически, ни организационно [5].

Принцип построения РМ ДП состоит в применении реальных вычислителей с имитацией для них космических условий функционирования БА. При невозможности запуска бортового ПО только на одном вычислителе (без остальных аппаратных средств БА) используется реальный бортовой отработочный прибор (целиком или частично).

Программное обеспечение функционирует на реальном вычислителе в течение длительного времени в условиях имитации эксплуатационной обстановки. Программные ошибки, не обнаруженные на отработочных испытаниях БА из-за их относительной кратковременности, постепенно начинают вызывать сбои в ее работе. Анализ состояния телеметрии БА и технологический контроль аппаратных средств и ПО позволяют сделать определенные выводы о причинах сбоев и путях их устранения. Доработка бортового ПО и его повторный запуск на долговременный прогон проверяют эти выводы на практике.

Такая технология отработки дает возможность корректировать ПО уже запущенной в полет БА (при условии наличия возможностей по ее перепрограммированию в процессе эксплуатации), что увеличивает срок активного существования космических аппаратов, а иногда даже помогает восстановить утраченную ими работоспособность.

Таким образом, отработка БА на РМ ДП показывает скрытое влияние некоторых особенностей функционирования технических средств бортовых приборов на работоспособность ПО БА при длительной эксплуатации. Из-за относительной кратковременности отработочных испытаниях БА это влияние может быть обнаружено только при ее долгосрочном функционировании. Изменение аппаратных средств к моменту их обнаружения зачастую уже невозможно, поскольку КА в это время находится на последних стадиях испытаний или уже запущен. В таком случае остается только искать возможность программными средствами парировать сбои или отказы БА.

Информация, полученная при долговременном прогоне БА, может быть использована не только для корректировки бортового ПО, но и при новых разработках аппаратных средств. Обнаруженный эффект влияния особенностей функционирования аппаратных средств на ПО позволяет говорить о необходимости создания специальных рабочих мест долговременного прогона любых программно-управляемых устройств БА, предназначенных для длительной эксплуатации.

Библиографические ссылки

1. Пичкалев А. В. Наземный отладочный комплекс бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Решетневские чтения : материалы XIV Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2010. Ч. 2. С. 515–516.

2. Жариков В. Н., Пичкалев А. В. Новые технологии для испытательного оборудования // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 1 (34). С. 132–135.

3. Комаров В. А., Пичкалев А. В. Применение технологий NI FPGA при испытаниях бортовой аппаратуры космических аппаратов // Интеллект и наука : тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. Железногорск, 2011. С. 146.

4. Гук М. Интерфейсы ПК : справочник. СПб. : Питер, 1999.

5. Пичкалев А. В. Создание автоматизированного мобильного испытательного комплекса для цеховых испытаний программно-управляемой радиоэлектронной аппаратуры // Решетневские чтения : материалы XIII Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. Ч. 2. С. 528–529.

V. N. Zharikov, A. V. Pichkalev

PROBLEMS OF OPTIMISATION OF SOFTWARE OF ON-BOARD RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

The modern on-board radio-electronic equipment, using FPLD, i. e. microcontrollers, computing modules etc., demands special methods of debugging, since an additional non-material constituent, namely, software, is entered into its structure. Software debugging is specific, since some errors of its development, leading to failures, can be revealed only during long-term operation of onboard equipment. Special equipment, that can ensure a long-term operation of software and simulate operating conditions during long term operation, is required for revelation of these software failures and providing with long-term prognosis.

Keywords: on-board equipment, software, optimization, emulation, interfaces.

© Жариков В. Н., Пичкалев А. В., 2012

УДК 004.056

В. Г. Жуков, М. Н. Жукова, Н. А. Коромыслов

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ САМООБУЧАЮЩИХСЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрено применение принципов функционирования механизмов иммунной системы в задаче построения адаптивного самообучающегося средства защиты информации и использования нечеткой логики для его улучшения.

Ключевые слова: искусственные иммунные системы, нечеткая логика, защита информации.

В современном мире информация играет роль самого востребованного ресурса, а ее потеря или нежелательная модификация может привести к значительному ущербу. Поэтому необходимо применять средства для защиты информации от преднамеренного или непреднамеренного воздействия.

Вопрос построения системы защиты – это ключевой вопрос обеспечения безопасности информации. Одной из основных проблем при проектировании средств защиты информации является проблема постоянного появления новых, ранее неизвестных угроз. Для эффективного противодействия подобным угрозам система защиты информации должна иметь собственные механизмы обучения и генерации новых правил информационной безопасности. В этом случае эффективным решением будет построение самообучающейся системы защиты информации, которая способна реагировать на возникновение новых угроз безопасности информации. Помимо самообучения, немаловажной характеристикой системы защиты информации является адаптивность, так как адаптивная система будет сохранять работоспособность при непредвиденных изменениях свойств управляемого объекта, целей управления или окружающей среды путем смены алгоритма своего функционирования, программы поведения или поиска оптимальных состояний.

Одним из перспективных подходов является разработка алгоритмического обеспечения систем защиты информации. Принцип работы этих систем основан на моделировании механизмов иммунной системы человека, которая обеспечивает защиту организма от разнообразных угроз и представляет собой сложную адаптивную структуру, эффективно использующую различные механизмы защиты. Основная задача иммунной системы заключается в распознавании молекулярных структур организма и классификации их на «своих» и «чужих». Выявленные чужеродные структуры, в том числе и не существующие в природе, например синтезированные в лаборатории, служат сигналом для активации защитного механизма соответствующего типа. Результатом распознавания является обучение и формирование памяти к данной угрозе. В зависимости от частоты и силы конкретной угрозы иммунная система непрерывно изменяется, теряя или усиливая память к разным угрозам, что обеспечивает эффективную защиту в условиях ограниченности ресурсов [1].

Принципы иммунной системы уже использовались в решении задач, связанных с информационной безопасностью, таких как обнаружение компьютерных вирусов [2], организация парольной защиты [3], мониторинг процессов в системе UNIX [4].

Разрабатываемое на базе принципов работы иммунной системы адаптивное самообучающееся средство защиты информации должно иметь следующие компоненты (рис. 1):

– модули-датчики, которые с определенной периодичностью собирают информацию о текущем состоянии системы;

– модуль выявления угроз, который при помощи аппарата искусственных иммунных систем определяет, являются ли события, полученные от модулей-датчиков, инцидентами информационной безопасности [5];

– модуль хранения данных, который содержит информацию о параметрах штатной работы автоматизированной системы, сведения об инцидентах информационной безопасности и хранит протокол журнала с записями о произошедших инцидентах;

– модуль реагирования, который инициирует ответное действие системы при обнаружении инцидента информационной безопасности. Ответное действие определяется в зависимости от политики безопасности и степени опасности инцидента. Это может быть оповещение об инциденте, блокирование части функций системы, прекращение работы системы и другие действия, а также их совокупность [6].

Предлагаемое адаптивное самообучающееся средство защиты информации начинает свою работу с генерации детекторов с тем, чтобы соответствие детекторов и сведений о штатной работе не превышало задаваемого входного значения (рис. 2).

В режиме функционирования средство собирает данные об автоматизированной системе и проверяет их на соответствие сгенерированным ранее детекторам (рис. 3). В случае если какой-либо детектор соответствует полученным данным, эти данные заносятся в журнал записей об инцидентах информационной безопасности и передаются в модуль реагирования.

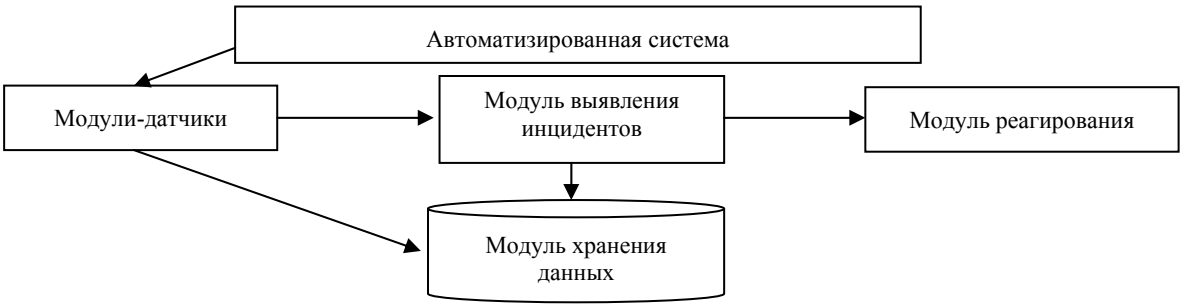


Рис. 1. Обобщенная архитектура адаптивного самообучающегося средства защиты информации

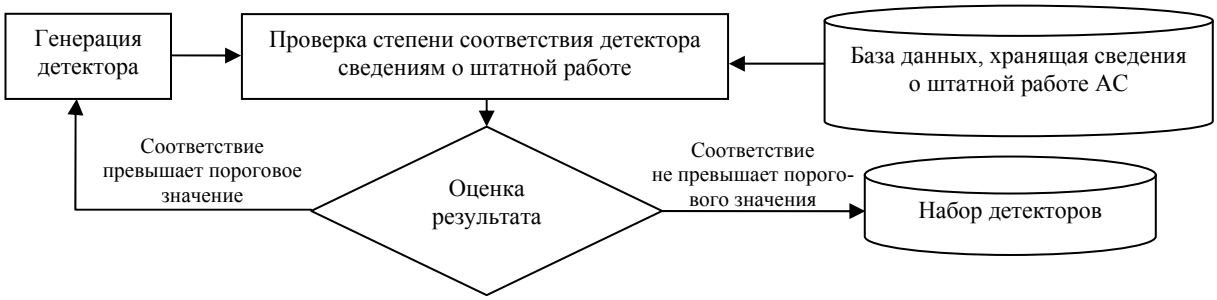


Рис. 2. Обобщенная схема процесса генерации детекторов

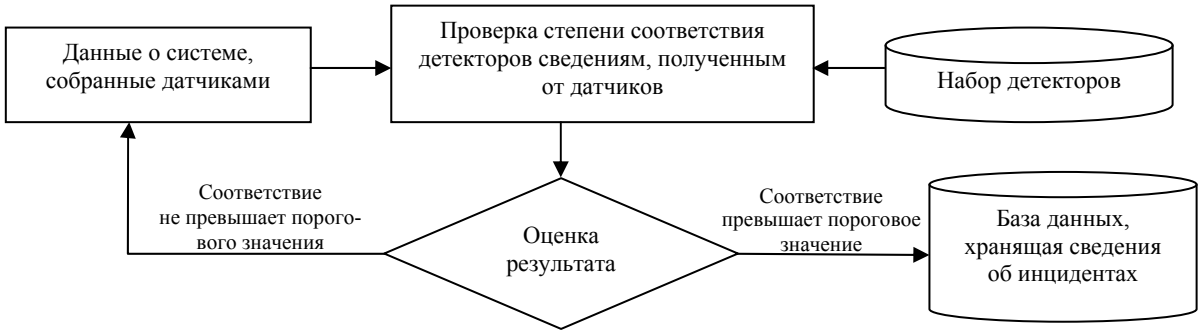


Рис. 3. Обобщенная схема функционирования средства защиты информации

Модуль выявления угроз, как правило, основан на алгоритме отрицательного отбора [2] или его модификациях. Этот алгоритм можно формализовать следующим образом.

Шаг 1. Определим «свое» как совокупность S строк длины l над конечным алфавитом, которую необходимо защищать или контролировать. В качестве S могут выступать программа, файл данных (любое программное обеспечение) или нормальная форма активности, подразделяемые на подстроки.

Шаг 2. Образуем набор детекторов R, каждый из которых не должен соответствовать любой строке из S, при этом вместо точного соответствия используем правило частичного соответствия: две строки соответствуют друг другу, если и только если они совпадают по крайней мере в r следующих друг за другом позициях, где r – целочисленный параметр.

Шаг 3. Проверим S на предмет изменений путем непрерывного сравнения детекторов из R с элементами S. Если хотя бы один из детекторов окажется соответствующим, то это значит, что произошло изменение, поскольку детекторы по определению отобраны так, чтобы не соответствовать любой строке из S (рис. 4).

Описанный алгоритм опирается на три важных принципа:

– каждый вариант алгоритма уникален;

– процесс выявления изменений имеет вероятностный характер;

– надежная система должна обнаруживать не только заранее известные варианты изменений, но и любую чужеродную активность.

Для оценки эффективности работы искусственной иммунной системы на базе алгоритма отрицательного отбора были сгенерированы тестовые данные.

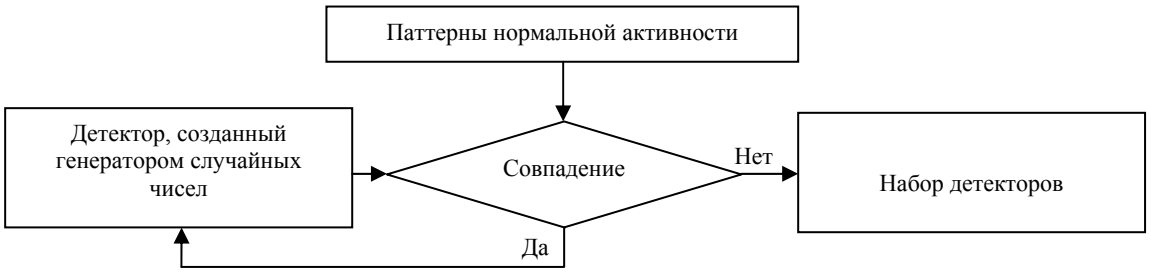


Рис. 4. Схема генерации детекторов в алгоритме отрицательного отбора

Таблица 1

Результаты тестирования алгоритма отрицательного отбора

Число детекторов	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000	35 000	40 000	45 000	50 000
Количество обнаруженных изменений	16	30	41	49	59	61	76	77	81	86

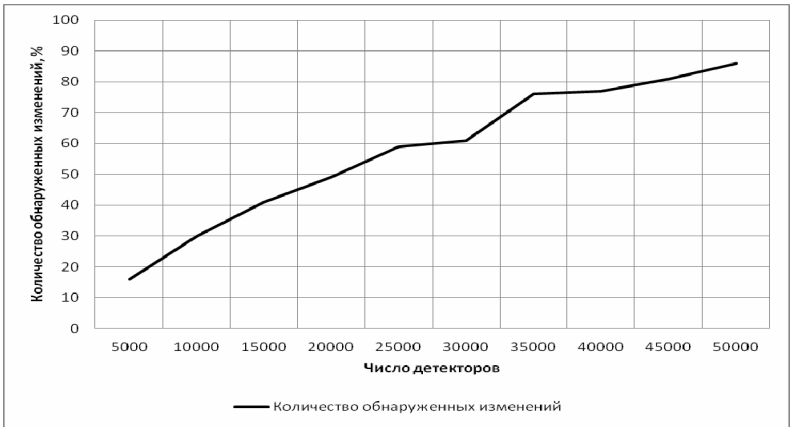


Рис. 5. Результаты тестирования алгоритма отрицательного отбора

В качестве тестовых данных применялись псевдослучайно сгенерированные строки со следующими параметрами:

– алфавит – 0…9;

– размер строки – 20 символов;

– размер частичного соответствия – 40 % от размера строки.

В качестве генератора псевдослучайных чисел использовался генератор на базе алгоритма Блюма–Блюма–Шуба.

Тестирование осуществлялось следующим образом:

– генерировалось множество *S*, мощность множества – 100 строк;

– генерировалось множество *R* различной мощности (табл. 1);

– в каждой строке из множества *S* значение каждого третьего символа менялось на случайно выбранное значение из заданного алфавита;

– подсчитывалось число строк из множества *S*, обнаруженных хотя бы одним детектором из множества *R* в соответствии с заданным размером частичного соответствия.

Результаты исследования эффективности работы искусственной иммунной системы на базе алгоритма отрицательного отбора, полученные путем усреднения результатов работы алгоритма по 100 запускам, приведены в табл. 1.

В классическом алгоритме отрицательного отбора детекторы генерируются случайным образом и зависимость числа обнаруженных изменений от числа сгенерированных детекторов является практически линейной (рис. 5). Это объясняется тем, что из-за большого числа возможных вариантов требуется увеличение количества детекторов для обеспечения заданного пользователем уровня надежности, выраженного в проценте успешно обнаруженных изменений, что в свою очередь приводит к большим затратам ресурсов системы.

Решение данной проблемы может быть найдено с помощью принципов нечеткой логики. Основным понятием теории нечеткой логики является понятие «мера близости к …», например «близко к 1» и т. д. Именно это понятие позволяет в дальнейшем работать с нечеткими, расплывчатыми значениями.

В рассматриваемой нами задаче меру близости предлагается использовать при работе с детекторами, при генерации детекторов и при проверке соответствия в качестве дополнительного средства для определения степени отличия детекторов. Настраиваемый параметр (мера близости) будет указывать на то, в каких пределах детекторы будут считаться схожими. В зависимости от свободных (или доступных) ресурсов система настраивается таким образом, чтобы два детектора (или детектор и данные о системе) считались схожими при различных отличиях. Если система обладает малыми ресурсами, то довольно большое число детекторов будет признаваться близкими друг к другу и отбрасываться при их генерации, что позволит уменьшить число детекторов. Это связано с тем, что чем больше детекторов можно сгенерировать, тем меньшие отличия будут признаваться серьезными. Таким образом, система становится гибкой и настраиваемой в зависимости от доступности ресурсов.

Приведем описание алгоритма отрицательного отбора с применением нечеткой логики.

Шаг 1. Определим «свое» как совокупность S строк длины l над конечным алфавитом, которую необходимо защищать или контролировать. В качестве S могут выступать программа, файл данных (любое программное обеспечение) или нормальная форма активности, подразделяемые на подстроки.

Шаг 2. Образуем набор детекторов R, используя механизмы нечеткой логики.

2.1. Введем функцию принадлежности, которая также является мерой близости детекторов.

2.2. Определим значения мер близости детекторов: малая, средняя, большая.

2.3. Зададим пороговое значение функции принадлежности для каждой меры близости детекторов.

2.4. При генерации детектора при поиске совпадений в r следующих друг за другом позициях вычисляем значение функции принадлежности. Значение функции принадлежности считается равным 1 в том случае, когда найдено r совпадений, где r – целочисленный параметр для каждой меры близости детекторов.

2.5. При значении функции принадлежности, превышающем заданное пороговое значение для данной меры близости, детектор принимается, при меньшем – отбрасывается.

Шаг 3. Проверим S на предмет изменений путем непрерывного сравнения детекторов из R с элементами S. При проверке будем использовать принципы нечеткой логики.

3.1. Введем функцию принадлежности, которая одновременно является мерой близости изменений.

3.2. Определим значения мер близости изменений: превышение размера частичного соответствия на величину менее заданного параметра h; превышение размера частичного соответствия на величину более заданного параметра h, где h – целочисленный параметр.

3.3. Зададим пороговое значение функции принадлежности для каждой меры близости.

3.4. При поиске изменений вычислим значение функции принадлежности.

3.5. При значении функции принадлежности, превышающем заданное пороговое значение для данной меры близости, детектором найдено изменение.

Для оценки эффективности работы искусственной иммунной системы на базе алгоритма отрицательного отбора с применением нечеткой логики была проведена генерация тестовых данных. В качестве тестовых данных использовались строки, псевдослучайно сгенерированные на базе алгоритма Блюма–Блюма–Шуба со следующими параметрами:

– алфавит – 0…9;

– размер строки – 20 символов;

– размер частичного соответствия – 40 % от размера строки.

Параметры нечеткой логики:

– форма представления термов – триангулярные нормы;

– граничные значения для мер близости детекторов: малая – от 15 до 20 % от размера строки; средняя – от 25 до 30 % от размера строки; большая – от 35 до 40 % от размера строки;

– параметр h – 5 % от размера строки;

– пороговые значения для функций принадлежности детекторов и изменений – 0,85 (85 %).

Тестирование осуществлялось следующим образом:

– генерировалось множество S, мощность множества – 100 строк;

– генерировалось множество R различной мощности (табл. 2);

– в каждой строке из множества S значение каждого третьего символа менялось на случайно выбранное значение из заданного алфавита;

– подсчитывалось число строк из множества S, обнаруженных хотя бы одним детектором из множества R.

Результаты исследования эффективности работы искусственной иммунной системы на базе алгоритма отрицательного отбора с применением нечеткой логики, полученные путем усреднения результатов работы алгоритма по 100 запускам, приведены в табл. 2.

Исследования проводились до достижения количества обнаруженных изменений во множестве S, сопоставимых с результатами исследования алгоритма отрицательного отбора (см. табл. 1). Применение нечеткой логики позволило уменьшить не только количество необходимых детекторов (на порядок) (рис. 6), но и количество требуемых ресурсов для работы алгоритма при практически том же проценте обнаруженных изменений.

Таблица 2

Результаты тестирования алгоритма отрицательного отбора с применением нечеткой логики

Число детекторов	500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
Количество обнаруженных изменений	25	45	61	70	77	81	85	88	86	90

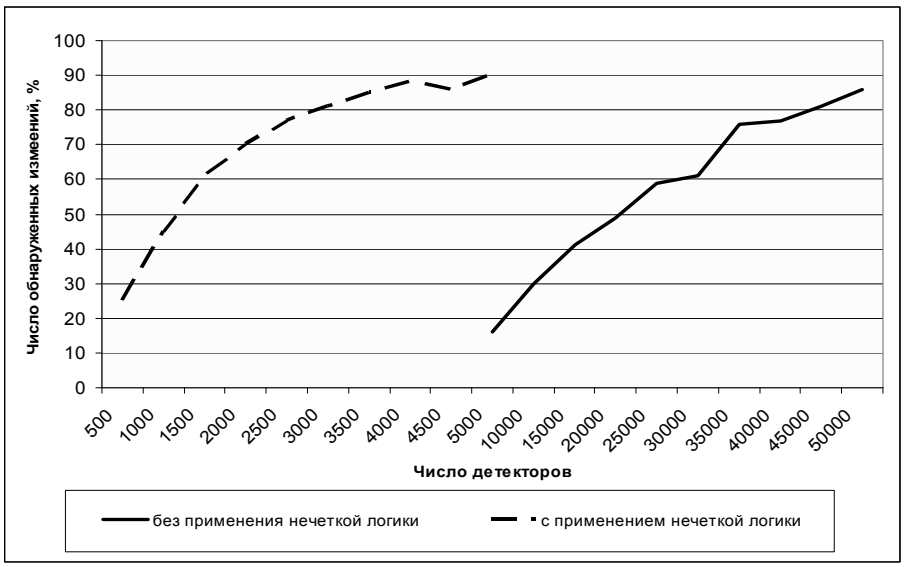


Рис. 6. Сравнительный анализ результатов тестирования

Однако чем бóльшие отличия будут считаться несущественным, тем будет больше ложных срабатываний. Приемлемый уровень ложных срабатываний определяется пользователем системы, так как алгоритмы такого типа обычно используются в системах превентивной защиты, которые применяются в качестве дополнительных методов защиты для систем, построенных на базе сигнатурных алгоритмов обнаружения уже известных угроз, с целью повышения уровня защищенности автоматизированных систем. Поэтому необходимо находить разумный компромисс между экономией ресурсов и точностью обнаружения. В данном случае нечеткая логика применяется для того, чтобы система становилась настраиваемой в зависимости от доступности ресурсов (например, объема используемой оперативной памяти), т. е. более адаптивной.

Для быстрого реагирования на угрозы, которые уже возникали в прошлом, система защиты должна содержать базу данных, хранящую сведения об инцидентах безопасности. В этом случае также целесообразно применение понятий нечеткой логики, особенно для описания угроз, похожих на те, записи о которых уже находятся в базе данных, что позволит ускорить распознавание таких угроз. Помимо скорости реагирования это будет полезно и для экономии ресурсов, так как требуется хранить меньше записей за счет того, что часть из них описывается как близкие к тем, которые уже находятся в базе.

В дальнейшем планируются исследования зависимости эффективности предлагаемого модифицированного алгоритма отрицательного отбора от настроек его параметров (длины проверяемых последовательностей и т. д.) и изучение влияния величины меры близости на процент ошибочных классификаций, а также введение адаптивно настраивающегося параметра «мера близости», который будет изменять свое значение в зависимости от частоты и уровня агрессивности внешних воздействий и режима функционирования системы защиты информации.

Таким образом, разработка адаптивных самообучающихся систем защиты информации позволит повысить эффективность решения задачи обнаружения угроз информационной безопасности и обеспечения заданного уровня безопасности информации, а применение нечеткой логики в дополнение к искусственным иммунным системам существенно улучшит создаваемое адаптивное самообучающееся средство защиты информации.

Библиографические ссылки

1. Искусственные иммунные системы и их применение / под ред. Д. Дасгупты ; пер. с англ. под ред. А. А. Романюхи. М. : Физматлит, 2006.

2. Self-Nonself Discrimination in a Computer / S. Forrest, A. S. Perelson, L. Allen, R. Cherukuri // Proc. of IEEE Symp. on Research in Security and Privacy. Los Alamitos, CA, 1994. P. 202–212.

3. Dasgupta D., Saha S. A Biologically Inspired Password Authentication System // ACM Proc. of 5th Cyber Security and Information Intelligence Research Workshop / Oak Ridge National Lab. Oak Ridge, Tenn, 2009.

4. A Sense of Self for Unix Processes / S. Forrest, S. A. Hofmeyr, A. Somayaji, T. A. Longstaff // Proc. IEEE Symp. on Security and Privacy. Los Alamitos, CA, 1996. P. 120–128.

5. Жуков В. Г., Жукова М. Н., Коромыслов Н. А. О применении искусственных иммунных систем в задаче обнаружения инцидентов информационной безопасности // Решетневские чтения : материалы XIV Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2010. Ч. 2. С. 548–549.

6. Коромыслов Н. А. О применении принципов иммунных систем в задаче построения адаптивных самообучающихся систем защиты информации // Актуальные проблемы безопасности информационных технологий : сб. тр. VII науч.-техн. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011.

V. G. Zhukov, M. N. Zhukova, N. A. Koromyslov

APPLICATION OF FUZZY ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS IN THE TASK OF CONSTRUCTION OF ADAPTIVE SELF-LEARNING INFORMATION SECURITY SYSTEM

We consider the application of principles of immune system functioning in the task of construction of adaptive self-organizing security tools and application of fuzzy logic for its improvement.

Keywords: artificial immune systems, fuzzy logic, information security.

© Жуков В. Г., Жукова М. Н., Коромыслов Н. А., 2012

УДК 004.932

А. Г. Зотин, А. В. Носов, Д. В. Бузаев

АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ МЕТОДОВ СЕГМЕНТАЦИИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЦВЕТОВЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ

Рассмотрены существующие методы сегментации по цветовым и структурным признакам. Приведено описание алгоритмов функционирования наиболее широко известных методов сегментации на основе пороговой обработки, графов и каскадов. Представлены результаты анализа пригодности методов сегментации для локализации объектов на примере растений, лиц и кистей рук людей.

Ключевые слова: анализ изображений, сегментация, пороговая обработка, алгоритм Краскала, каскады Хаара.

Развитие компьютерной техники делает возможной сложную обработку видеоданных, приближенную к реальному времени. В обработке изображений при распознавании образов одной из самых важных задач является задача обнаружения и локализации объектов интереса, возникающих в таких сферах, как мониторинг, охрана, управление и т. д. Среди наиболее активно развивающихся направлений можно выделить распознавание лиц людей и их жестов, применяемое в сфере охраны и управления, мониторинг растений и природных ресурсов в сельском хозяйстве.

Существует множество методов сегментации [1]. К наиболее распространенным методам относятся модификации методов пороговой обработки, сегментация на основе теории графов и на основе классификаторов (каскадов). Рассмотрим их более подробно.

В большинстве случаев, когда объекты интереса имеют определенный цвет, для их локализации используется цветовая сегментация, суть которой заключается в выделении областей, имеющих цвет объекта интереса. Наиболее широко известны и легко реализуемы методы, основанные на пороговой обработке, результатом которых является матрица, размеры которой совпадают с размерами изображения [2].

Сегментацию по порогу можно проводить разными способами. Самым простым является сравнение каждого пикселя с некоторым значением (порогом):

$$M(x,y)=\begin{cases}1, \text{если } I(x,y)\geq \text{Threshold},\\ 0, \text{ если } I(x,y)<\text{Threshold},\end{cases}$$

где $I(x, y)$ – яркость изображения в точке (x, y); M – результирующая маска; Threshold – значение порога.

Другой способ заключается в поиске близких по цвету пикселей с эталонным значением. Для этого каждый пиксель изображения рассматривается в выбранных цветовых пространствах, после чего вычисляется расстояние между ним и эталоном и принимается решение о принадлежности пикселя объекту. Однако следует обратить внимание на то, что в зависимости от цветовой модели цвет объекта может иметь различные представления в различных цветовых пространствах. Качество сегментации зависит от того, в какой модели будет проводиться обработка изображений:

$$M(x,y)=\begin{cases}1, \text{если } d(M(x,y),\text{Etalon})\geq \text{Threshold},\\ 0, \text{ если } d(M(x,y),\text{Etalon})<\text{Threshold},\end{cases}$$

где $I(x, y)$ – значение изображения выбранного цветового пространства в точке (x, y); M – результирующая маска; $d(X, Y)$ – функция, вычисляющая расстояние между векторами X и Y; Etalon – значение координат эталонного цвета в рассматриваемом цветовом пространстве; Threshold – значение порога.

Для оценки расстояния между эталонным и проверяемым цветом используют метрики. *Метрика* – это функция, определяющая расстояния в метрическом пространстве, т. е. во множестве, в котором определено расстояние между любой парой элементов. Наиболее популярными метриками являются:

– евклидова метрика – обычное расстояние между двумя точками:

$$d(X,Y)=\sqrt{(X-Y)^T\cdot(X-Y)},$$

где X и Y – сравниваемые векторы;

– метрика Махаланобиса:

$$d(X,Y)=\sqrt{(X-Y)^T\cdot C^{-1}\cdot(X-Y)},$$

где C – ковариационная матрица; X и Y – сравниваемые векторы;

– среднеквадратичная ошибка MSE (Mean Square Error):

$$d(X,Y)=\frac{1}{N}(X-Y)^T\cdot(X-Y),$$

где N – число элементов массива; X и Y – сравниваемые векторы.

Анализ данных о работе пороговой сегментации растений и кожи людей в моделях HSV и RGB показал, что значения каналов V, R, G и B лежат практически во всем диапазоне. Поэтому для более качественной сегментации по цветовым признакам используется модификация пороговой сегментации – многокомпонентная сегментация, которая заключается в назначении приоритета на составляющие выбранных цветовых моделей. К примеру, если сегментация зеленых растений проводится в моделях RGB и HSV, то эффективные результаты будет давать сегментация в каналах H, S и G, поэтому им следует задавать более высокие приоритеты, а каналам V, R и B – более низкие. Назначать приоритеты можно по формуле

$$\Lambda=\frac{\sum(k_i\cdot M_i)}{\sum k_i},$$

где Λ – результирующая маска; k_i – приоритет i-го канала; M_i – маска, полученная в результате сегментации изображения в i-м канале.

В тех случаях когда цвет объекта интереса может быть произвольным, применяется сегментация на основе теории графов, основная идея которой заключается в поиске и маркировке однородных по цвету участков [3].

Одним из алгоритмов такой сегментации является алгоритм Краскала, основанный на построении минимального остовного дерева взвешенного связного неориентированного графа. В текущей постановке задачи вершины графа (v_i) представляют собой пиксели, а ребра $e(v_i, v_j)$ – расстояние между ними. Нам известны расстояния между парами пикселей (v_i, v_j) – это вес ребер $w(e(v_i, v_j))$. Для реализации алгоритма Краскала необходимо выполнить следующие шаги.

Шаг 1. Выполняем сортировку имеющихся в графе ребер в порядке возрастания длины.

Шаг 2. Анализируем ребра в порядке возрастания длины и смотрим на концы $e = (a, b)$.

2.1. Если вершины a и b принадлежат одному множеству (внутри их подграфа сумма ребер уже минимальна), то такое ребро пропускается, так как оно образует цикл в дереве.

2.2. Если вершины a и b принадлежат разным подмножествам, то их нужно объединять, так как мы нашли ребро минимальной длины, объединяющее оба подмножества в одно.

2.3. Продолжаем цикл объединения до получения одного единственного множества, равного искомому, в котором будут присутствовать все вершины графа.

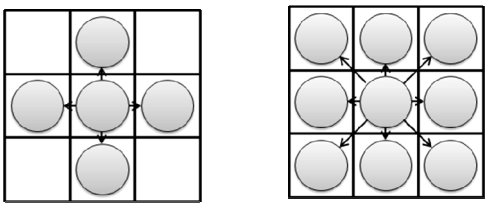
Шаг 3. Получаем одно единственное множество вершин и список ребер, использованных для его объединения. Данное множество представляет собой дерево с минимальной суммарной длиной, которое объединяет все вершины.

Для реализации понятия «множество» в алгоритме Краскала используется структура данных, ориентированная на хранение компонент связности в графах, – Disjoint-Set Data Structure, которая поддерживает выполнение следующих операций:

– выяснение, к какому множеству в текущий момент принадлежит рассматриваемая вершина;

– объединение заданных множеств в одно.

Алгоритм Краскала не работает с изображением напрямую, поэтому возникает необходимость в создании графа. Существуют два подхода для построения графа по изображению: с использованием 4- и 8-пиксельных связей (рис. 1). В первом случае каждый пиксель соединяется с соседними пикселями сверху, снизу, слева и справа. Такое построение хорошо тем, что количество ребер в графе минимально. Во втором случае в дополнение к предыдущему подходу каждый пиксель соединяется с пикселями, расположенными на диагонали. При такой реализации количество ребер в графе увеличится, в связи с чем алгоритм будет выполняться медленнее, но получаемый результат сегментации будет более качественным, так как в нем учитывается больше связей между пикселями.



а *б*

Рис. 1. Виды связей:
а – 4-пиксельная; *б* – 8-пиксельная

В начале выполнения алгоритма Краскала каждый пиксель, представляющий собой вершину графа, будет находиться в собственном сегменте, но в дальнейшем пиксели, обладающие схожим цветом, т. е. пикселем одного объекта, постепенно будут объединяться в один сегмент. Например, если на каком-то шаге алгоритма попалось ребро, соединяющее два соседних пикселя, в котором на одном конце ребра пиксель оранжевый, а на другом – красный, то длину ребра в таком случае можно определить как разницу цвета между пикселями.

Далее необходимо выяснить, в одном ли сегменте лежат анализируемые пиксели. Если они находятся в разных сегментах, то выполняется проверка. В случае прохождения проверки пиксели объединяются в один сегмент и построение графа продолжается.

Выделение объекта происходит с помощью следующих действий:

– поиск сегмента некоторого пикселя *x* по предкам до самого верха. Самый верхний пиксель – это корень дерева, представитель данного сегмента на текущий момент;

– объединение сегментов. Если у пикселей разные представители, значит они принадлежат различным сегментам, иначе корень был бы один. Для объединения пикселей представитель сегмента меньшей высоты отсылается на более длинного представителя, чтобы не увеличивать высоту дерева. В результате будет получен объединенный сегмент с общим представителем;

– для того чтобы в следующий раз не удаляться далеко от пикселя к корню, после того как представитель будет успешно обнаружен, на него устанавливается прямая ссылка из пикселя. Это сокращает путь последующих поисков. Для этого в качестве длины ребра выбирается евклидово расстояние, зависящее как от положения пикселей (*x*, *y*), так и от их цвета (r, g, b). Теперь пиксели будут считаться соседями, если они расположены рядом либо имеют схожий оттенок, хотя физически могут находиться на некотором удалении.

Сегментация на основе классификаторов (каскадов) лежит в основе алгоритма Виолы–Джонса, который заключается в том, чтобы при прохождении каскада весь кадр обрабатывать целиком, в результате чего можно определить области, в которых существует вероятность обнаружения объекта, и усилить простые классификаторы (рис. 2) [4].

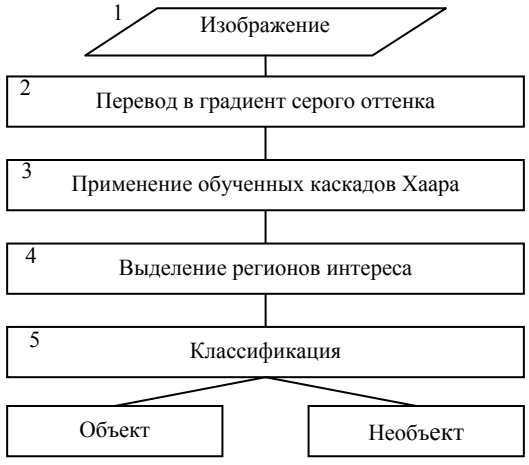


Рис. 2. Схема работы алгоритма Виолы–Джонса

Классификатор – это набор признаков. Однако не все признаки могут точно описывать объект, вследствие чего необходимо обучение и усиление слабых признаков. Усиление простых классификаторов – подход к решению задачи классификации (распознавания) путем комбинирования примитивных слабых классификаторов в один сильный (под силой классификатора подразумевается эффективность решения задачи классификации). Слабый классификатор имеет вид

$$h(x, f, p, \theta) = \begin{cases} 1, \text{ если } pf(x) < p\theta, \\ 0, \text{ если иначе,} \end{cases}$$

где f – признак; p – полярность, показывающая направление неравенства; θ – пороговое значение.

Для формирования сильного классификатора как взвешенной комбинации слабых классификаторов применяется процедура AdaBoost. Пусть даны примеры изображений $(x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n)$, где $y_i = [0, 1]$ для отрицательных и положительных примеров соответственно. Следует определить значение веса $w_{1,i} = 1/2m, 1/2l$ для $y_i = [0, 1]$ соответственно, где m используется для отрицательных примеров; l – для положительных.

Нормализация происходит при условии, что существует конечное число слабых классификаторов:

$$w_{t,i} = \frac{w_{t,i}}{\sum_{j=1}^{n} w_{t,j}}.$$

Из всех слабых классификаторов выбирается самый сильный – с минимальной ошибкой:

$$\varepsilon_t = \min_{f,p,\theta} \sum_i \varepsilon_t \mid h(x_i, f_t, p_t, \theta_t) - y_i \mid.$$

Затем определяется слабый классификатор, переменные которого минимизируют ε_t:

$$h_t(x) = h(x_i, f_t, p_t, \theta_t),$$

где f_t – признак; p_t – полярность; θ_t – пороговое значение.

После того как один слабый классификатор найден, продолжается поиск других и обновляются веса:

$$w_{t+1,i} = w_{t,i} \cdot \beta_t^{1-e_t},$$

где $e_i = 0$, если пример x_i классифицирован правильно, и $e_i = 1$, если иначе;

$$\beta_t = \frac{\varepsilon_t}{1 - \varepsilon_t}.$$

Значение сильного классификатора, состоящего из слабых, находится по следующей формуле:

$$C(x) = \begin{cases} 1, \text{ если } \sum_{t=1}^{T} \alpha_t h_t \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^{T} \alpha_t, \ \ \alpha_t = \log \frac{1}{\beta_t}, \\ 0, \text{ если иначе.} \end{cases}$$

Обучающий алгоритм для создания сильного классификатора позволяет вводить максимально и минимально допустимый уровень срабатываний. Для существующего набора отрицательных и положительных примеров задается общий уровень ложных срабатываний, для чего используется процедура усиления классификаторов AdaBoost. Полученный каскад необходимо оценить на тестовом наборе.

Признак, используемый для анализа изображения, можно представить кортежем

$$\text{Feature (особенность)} = \{T, O, S\},$$

где T – тип признака; O – координата левого верхнего угла признака; S – размер признака по горизонтали и вертикали в пикселях.

Значение признака рассчитывается по формуле

$$\text{Feature} = k_w \sum V_w + k_b \sum V_b,$$

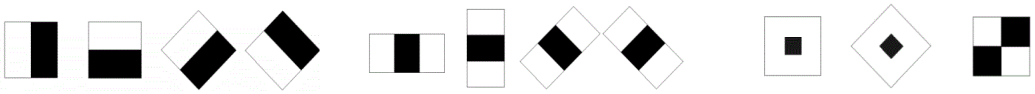
где $\sum V_w$, $\sum V_b$ – суммы интенсивностей всех пикселей изображения в белых и черных областях признака; k_w и k_b – коэффициенты их нормирования по площади.

Для быстрого вычисления признаков используется интегральное изображение (рис. 3). Оно представляет собой матрицу, размерность которой совпадает с размерностью исходного изображения. Элементы матрицы определяются по следующей формуле:

$$\text{SAT}(x, y) = \sum_{x' \le x, y' \le y} I(x', y'),$$

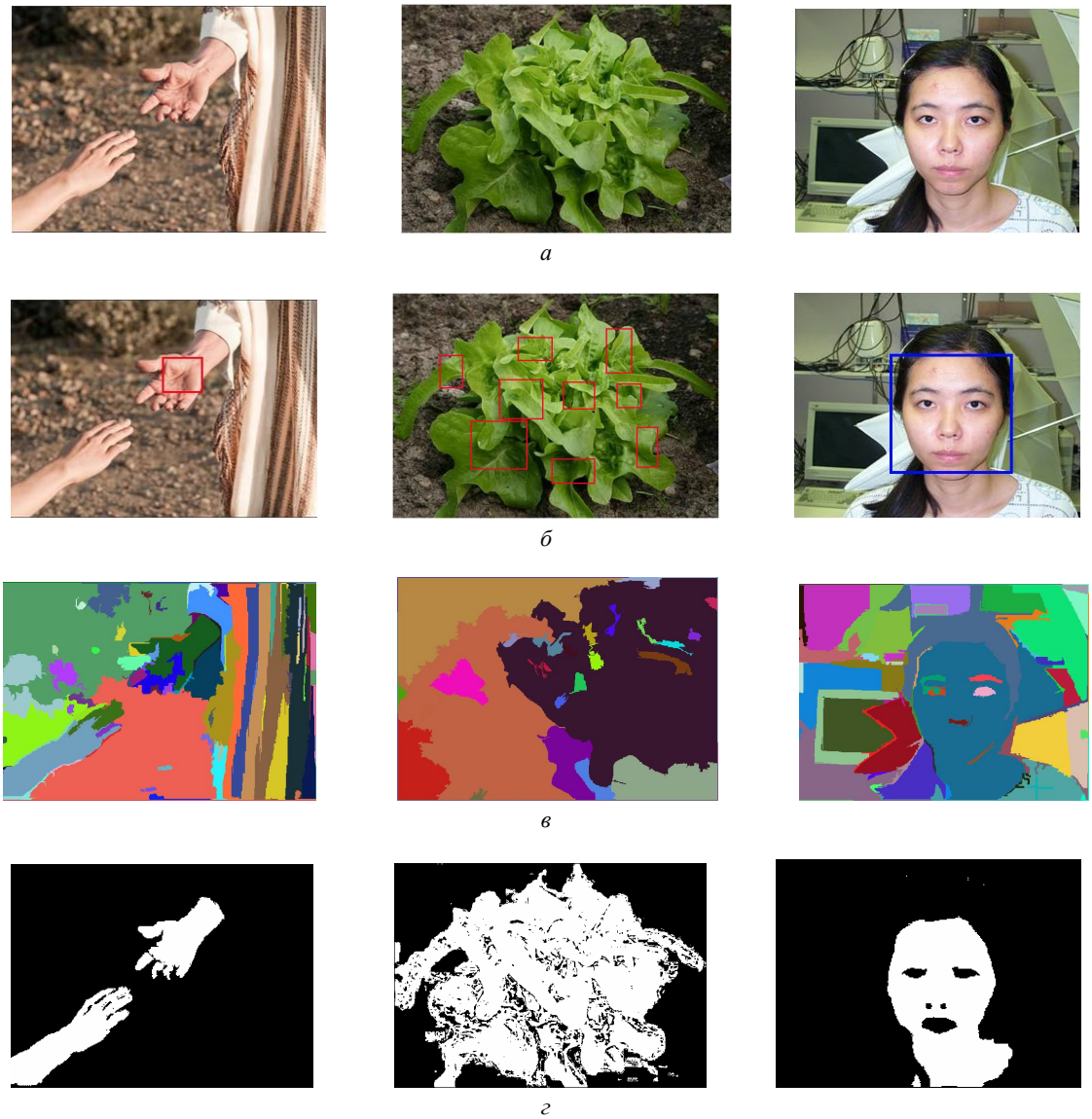
где SAT(x, y) – значение элемента интегрального изображения с координатами x, y; $I(x', y')$ – яркость пикселя исходного изображения.

При проведении экспериментов было использовано более 100 изображений кистей рук, растений и лиц людей размером от 640×480 до 1 600×1 200 (рис. 4).



а *б* *в* *г*

Рис. 3. Виды признаков для обученного каскада Хаара:
а – граничные; *б* – линейные; *в* – центральные; *г* – диагональные



а

б

в

г

Рис. 4. Примеры сегментации изображений:
а – оригинальные изображения; *б* – изображения, полученные с помощью алгоритма Виолы–Джонса; *в* – алгоритма Краскала; *г* – пороговой сегментации

В алгоритме Краскала при определении расстояния между пикселями в таком аспекте, как перепад интенсивностей, пиксели пестрого, пусть даже единого объекта, будут реагировать на объединение в один объект. Во избежание этого предлагается использовать фильтр Гаусса, который позволяет убрать шум и размыть изображение. Это вызывает взаимопроникновение цветовых пикселей, и они более охотно идут на контакт.

Зависимость времени работы алгоритма от размеров изображения можно увидеть на рис. 5. Наибольшее быстродействие достигается при использовании модели YCrCb.

При оценке точности локализации были сформированы три набора экспериментальных данных по каждой категории:

– категория 1 – фон содержит минимальное количество объектов, затрудняющих локализацию, и имеет относительно простую структуру;

– категория 2 – фон содержит некоторое количество объектов и характеризуется умеренной неоднородностью;

– категория 3 – фон содержит некоторое количество объектов и обладает сложной структурой.

При рассмотрении результатов сегментации точность обнаружения объекта в значительной степени зависит от внешней среды и установленных параметров работы алгоритма (см. таблицу).

В ходе исследования было выяснено, что для локализации лиц людей наилучшим образом подходит сегментация с использованием цветовых моделей YCrCb, HLS и их комбинации. Алгоритм Виолы–Джонса достаточно устойчив к поворотам изображения до 15°. При локализации лиц в таких условиях алгоритм обладает крайне низкой вероятностью ложного обнаружения лица и является одним из лучших по показателю точности локализации лица, которая составляет 98,62 %. Алгоритм Виолы–Джонса обеспечивает хорошие результаты при поворотах изображения относительно камеры.

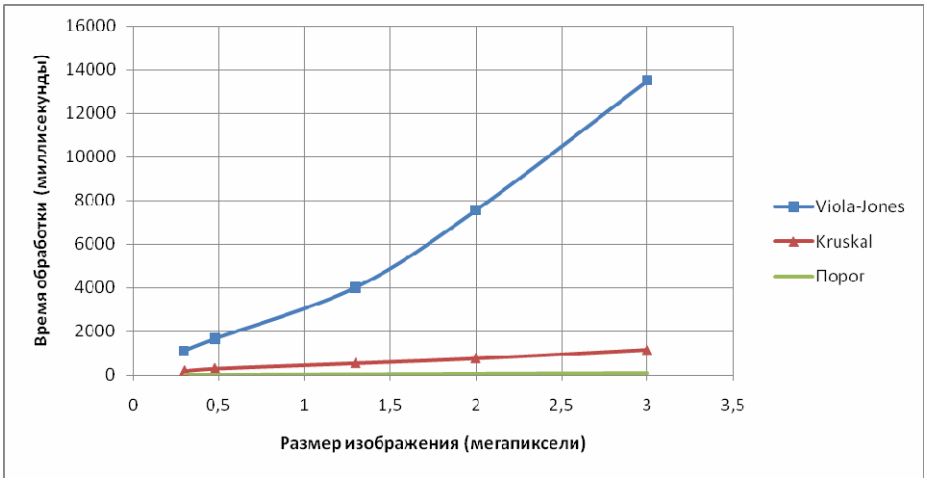


Рис. 5. Зависимость времени работы алгоритмов от размера изображения

Оценка точности сегментации

Категория	Пороговая сегментация		Алгоритм Краскала		Алгоритм Виолы–Джонса	
	Среднее количество сегментов	Процент покрытия	Среднее количество сегментов	Процент покрытия	Среднее количество сегментов	Процент покрытия
Изображения растений						
Категория 1	15	87,8…99,4	10	95,2…100,0	9	30,1…44,4
Категория 2	21	83,3…97,2	19	87,0…96,9	10	36,3…49,8
Категория 3	24	81,4…96,5	31	73,3…95,1	7	21,5…38,8
Изображения лиц людей						
Категория 1	1	95,1…100,0	1	97,2…100,0	1	97,9…100,0
Категория 2	3	93,3…100,0	4	89,5…97,5	1	97,1…100,0
Категория 3	4	89,2…96,8	7	83,1…91,3	2	96,7…100,0
Изображения кистей рук людей						
Категория 1	2	95,1…99,7	3	94,7…99,8	1	50,0..64,4
Категория 2	4	93,3…98,4	5	86,4…97,7	1	38,5…51,6
Категория 3	6	88,7…97,1	8	78,8…93,1	1	21,9…41,7

Примечание. При формировании табличных значений в ходе оценки экспериментальных данных не учитывалось покрытие сегментами областей, которые не относятся к объекту интереса.

При локализации кистей рук людей наилучшие результаты показали методы пороговой сегментации и алгоритм Краскала: 91,75 и 95,38 % соответственно.

Средняя точность при локализации растений пороговой сегментацией составляет 90,9 %, алгоритмом Краскала – 91,2 %.

В ходе экспериментов было выяснено, что алгоритм Виолы–Джонса не подходит для сегментации растений, поскольку в процессе развития они неоднократно меняют свою геометрию, что затрудняет обучение каскадов Хаара. При этом точность локализации не превышает 37 %.

Все вычисления производились на компьютере Intel Core 2 Duo P8400 2,2 MHz, с 4 Гбайтами оперативной памяти. Следует отметить что реализации алгоритмов Виолы–Джонса и Краскала очень требовательны к ресурсам компьютера. Время работы алгоритма Виолы–Джонса превышает порог в 1 с при обработке небольших изображений, например при обработке изображения с размером 1 024×768 – более 3 с, при этом алгоритм Краскала выполняется за 0,4 с.

Библиографические ссылки

1. Бузаев Д. В., Зотин А. Г., Носов А. В. Сравнение методов для системы локализации и обнаружения лиц // Молодежь Сибири – науке России : материалы науч.-практ. конф. Красноярск, 2011.

2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. М. : Техносфера, 2006.

3. Felzenszwalb P. F., Huttenlocher D. P. Efficient Graph-Based Image Segmentation // Huttenlocher Intern. J. of Computer Vision. 2004. Vol. 59, № 2. P. 37–44.

4. Viola P., Jones M. Robust Real-Time Object Detection // Intern. J. of Computer Vision. Kluwer Academic Publishers, 2004. P. 137–154.

A. G. Zotin, A. V. Nosov, D. V. Buzaev

ANALYSIS OF SUITABILITY OF SEGMENTATION METHODS BASED ON COLOR AND STRUCTURAL FEATURES FOR LOCALIZATION OF OBJECTS

The existing methods of segmentation, according to color and structural features, are considered. The algorithms of the most widely known methods of segmentation based on thresholding, graphs, and cascades are described. Results of the analysis of segmentation methods suitability for objects localization are shown for the cases of plants, people's faces and areas of the hands.

Keywords: image analysis, segmentation, threshold processing, the Kruskal's algorithm, Haar's cascades.

© Зотин А. Г., Носов А. В., Бузаев Д. В., 2012

УДК 517.972.5

И. А. Лопатин

РЕШЕНИЕ ВАРИАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ СЖАТОГО СТЕРЖНЯ

Представлено решение задачи о выборе закона изменения поперечного сечения стержня, обеспечивающего восприятие максимальной сжимающей силы при заданном объеме материала.

Ключевые слова: стержень, устойчивость, оптимизация.

Осесимметричные пространственные фермы, составленные из прямолинейных стержней, нашли широкое применение в качестве адаптеров полезной нагрузки. Расчет таких конструкций проводится в предположении, что стержни фермы соединены шарнирно, а основным видом разрушения стержня является потеря устойчивости при действии на него сжимающей силы.

Стержни фермы в большинстве конструкций имеют постоянное по длине поперечное сечение. Однако использование в ферме стержней с переменным поперечным сечением позволяет создавать более эффективные конструкции [1; 2].

Рассмотрим шарнирно опертый стержень длиной l, нагруженный сжимающей силой P. Пусть стержень имеет круглое поперечное сечение, радиус которого r зависит от продольной координаты x. Длина стержня l и его объем V_0 являются заданными величинами. Необходимо подобрать закон изменения радиуса поперечного сечения, который обеспечивает максимум критической силы P при известном объеме стержня V_0.

Сформулируем условие этой задачи как задачи вариационного исчисления. Объем стержня V_0 определяется функционалом

$$V_0 = \int_0^l \pi\left[r(x)\right]^2 dx, \qquad (1)$$

где $r(x)$ – зависимость радиуса стержня от продольной координаты.

Уравнение устойчивости стержня имеет вид

$$w_{xx} + \frac{Pw}{EJ(x)} = 0, \qquad (2)$$

где $w(x)$ – прогиб стержня; E – модуль упругости; $J(x)$ – момент инерции поперечного сечения.

На краях стержня выполняются следующие граничные условия:

$$w(0) = 0, \quad w(l) = 0. \tag{3}$$

Момент инерции круглого поперечного сечения будет

$$J(x) = \frac{\pi[r(x)]^4}{4}. \tag{4}$$

Подставляя (4) в (2), получим

$$[r(x)]^4 = -\frac{\mu^2 w}{w_{xx}}, \tag{5}$$

где

$$\mu^2 = \frac{4P}{\pi E}. \tag{6}$$

Подстановка $[r(x)]^2$ из (5) и параметра μ из (6) в функционал (1) дает

$$\frac{V_0\sqrt{E}}{2\sqrt{\pi P}} = \int_0^l \sqrt{-\frac{w}{w_{xx}}}dx. \tag{7}$$

Объем V_0 в уравнении (7) является постоянным. Поэтому минимум функционала

$$I = \int_0^l \sqrt{-\frac{w}{w_{xx}}}dx \tag{8}$$

обеспечивает максимум критической силы P.

Уравнение Эйлера сформулированной вариационной задачи будет следующим:

$$-w_{xx}\sqrt{-\frac{w}{w_{xx}^3}} + \left(\sqrt{-\frac{w}{w_{xx}^3}}\right)_{xx} w = 0. \tag{9}$$

С помощью замены

$$v = \sqrt{-\frac{w}{w_{xx}^3}} \tag{10}$$

дифференциальное уравнение (9) приводится к виду

$$\left(v_x w - v w_x\right)_x = 0. \tag{11}$$

Интегрируя уравнение (11) с учетом граничных условий (3) и того, что $v(0) = 0$, запишем его решение:

$$\sqrt{-\frac{w}{w_{xx}^3}} = cw, \tag{12}$$

где c – постоянная интегрирования. Форма потери устойчивости стержня определяется с точностью до произвольного множителя c, для удобства принятого равным единице:

$$w = -\frac{1}{w_{xx}^3}. \tag{13}$$

Умножим обе части уравнения (13) на $2w_x$:

$$2w_x w_{xx} = -2w_x w^{-1/3}. \tag{14}$$

Интегрируя уравнение (14), получим

$$w_x = \sqrt{3}\sqrt{a^2 - w^{2/3}}. \tag{15}$$

Разделяя переменные и интегрируя уравнение (15) с помощью замены $w = u^3$, $dw = 3u^2du$, найдем общий интеграл уравнения (9):

$$x = \sqrt{3}\int \frac{u^2 du}{\sqrt{a^2 - u^2}} + C. \tag{16}$$

Выполняя интегрирование в (16), получим общее решение дифференциального уравнения (9):

$$x = \frac{\sqrt{3}}{2}a^2\left[\arcsin\frac{\sqrt[3]{w}}{a} - \frac{\sqrt[3]{w}}{a}\sqrt{1-\left(\frac{\sqrt[3]{w}}{a}\right)^2}\right] + C, \tag{17}$$

где a и C – постоянные краевой задачи, которые находятся из граничных условий (3):

$$a = \sqrt{\frac{2}{\pi\sqrt{3}}}, \; C = 0. \tag{18}$$

Подстановка w_{xx} из соотношения (13) в (5) дает следующее выражение для $r(x)$:

$$r^3 = \sqrt{\mu^3}w. \tag{19}$$

С учетом (18) и (19) общее решение дифференциального уравнения (9) можно записать в виде

$$x = \frac{l}{\pi}\left[\arcsin\frac{r}{r_0} - \frac{r}{r_0}\sqrt{1-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2}\right], \tag{20}$$

где

$$r_0^4 = \frac{16l^2P}{3\pi^3E}. \tag{21}$$

На основе решения дифференциального уравнения (20) получено следующее трансцендентное уравнение для определения оптимального закона $r(x)$:

$$\arcsin\gamma - \gamma\sqrt{1-\gamma^2} - \pi\cdot s = 0, \tag{22}$$

где

$$\gamma = \frac{r}{r_0}; \quad s = \frac{x}{l}. \tag{23}$$

Для того чтобы уравнение (22) имело вещественные корни, достаточно, чтобы значения параметра s изменялись в следующих пределах:

$$0 \le s \le 0{,}5. \tag{24}$$

Численное решение уравнения (22) было выполнено в приложении MATLAB. Для 100 значений параметра s (начальное значение параметра равно 0, шаг изменения параметра = 0,05) из промежутка (24) было найдено значение корня γ (см. таблицу).

Полученные результаты были аппроксимированы методами регрессионного анализа с помощью приложения Curve Expert (рис. 1). Аппроксимирующая функция имеет следующий вид:

$$\gamma = \frac{ab + c\cdot s^d}{b + s^d}, \tag{25}$$

где a = 4,683 938·10^{-3}; b = 4,683 938·10^{-3}; c = 1,401 818; d = 5,531 215·10^{-1}.

Значения корня γ для некоторых значений параметра *s*

s	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
γ	0,592 751	0,726 609	0,810 933	0,870 672	0,914 770
s	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
γ	0,947 521	0,971 293	0,987 481	0,996 904	1,000 000

Учитывая (23), получим

$$r = r_0 f(x), \qquad (26)$$

где

$$f(x) = \frac{ab + c\left(\frac{x}{l}\right)^d}{b + \left(\frac{x}{l}\right)^d}. \qquad (27)$$

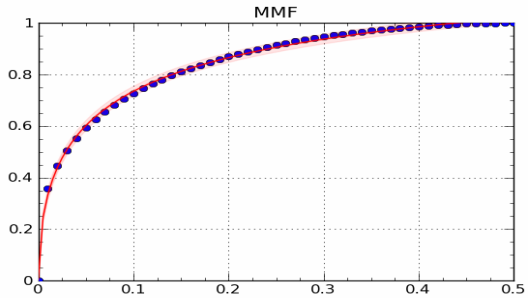


Рис. 1. График аппроксимирующей функции

Подставляя выражение для $r(x)$ из (26) в (1), для заданного объема V_0 имеем

$$r_0 = \sqrt{\frac{V_0}{\pi \int_0^l f^2(x)dx}}. \qquad (28)$$

Из уравнения (21) следует выражение для максимальной критической силы:

$$P = \frac{3\pi^3 E r_0^4}{16 l^2}. \qquad (29)$$

Подставляя (28) в уравнение (29) для максимальной критической силы P, получаем

$$P = \frac{3\pi^3 E}{16 l^2} \cdot \frac{V_0^2}{\left(\pi \int_0^l f^2(x)dx\right)^2}. \qquad (30)$$

Так как объем материала постоянный, то

$$V_0 = 4\pi I l^2, \qquad (31)$$

где I – момент инерции стержня, имеющего постоянное поперечное сечение.

Подставляя (31) в выражение для максимальной критической силы (30), получим

$$P = \frac{3}{4} \frac{1}{\left(\frac{1}{l}\int_0^l f^2(x)dx\right)^2} \cdot \frac{EI\pi^2}{l^2} = \varphi \cdot P_c, \qquad (32)$$

где P_c – максимальная критическая сила для стержня постоянного поперечного сечения.

Интеграл в выражении (32) определялся численно с помощью приложения MATLAB:

$$\int_0^l f^2(x)dx = 0,749\,292 \cdot l. \qquad (33)$$

Подставим (33) в (32):

$$\varphi \approx 1,36. \qquad (34)$$

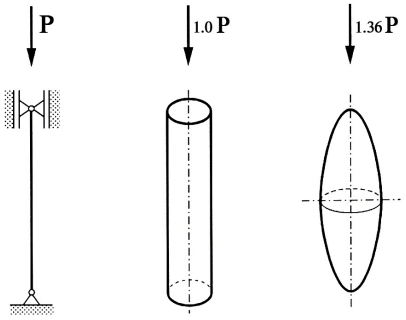


Рис. 2. Сравнение различных форм стержня

Анализ различных форм стержня показывает, что при заданном объеме V_0 использование переменного поперечного сечения, является оптимальным, повышает на 36 % критическую силу по сравнению с критической силой стержня, имеющего постоянное поперечное сечение (рис. 2).

Библиографические ссылки

1. Ржаницын А. Р. Устойчивость равновесия упругих систем. М. : Гостехтеоретиздат, 1955.

2. Николаи Е. Л. Труды по механике. М. : Гостехтеоретиздат, 1955.

I. A. Lopatin

SOLUTION OF THE VARIATIONAL PROBLEM FOR THE OPTIMAL COMPRESS ROD SHAPE

The paper provides the solution of the problem of choosing the law of change of cross section of a rod, providing for sensing the maximum compressive force for a given volume of material.

Keyword: rod, stability, optimization.

© Лопатин И. А., 2012

УДК 539.4

В. Н. Максименко, Б. С. Резников, О. В. Шеремет

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ МАКРОНЕОДНОРОДНЫХ СРЕД ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

На основе структурного подхода предложен метод для построения поверхности прочности макронеоднородных композитов в пространстве параметров внешнего воздействия, при этом используются физические соотношения для композитного материала, которые учитывают корректно сформулированные условия сопряжения на границах раздела фаз. Для случая плоского напряженного состояния дан численный анализ влияния характера анизотропии элементов субструктуры, их прочностных свойств, объемного содержания и взаимного расположения на условие начала разрушения композитного материала.

Ключевые слова: макронеоднородные композиты, поверхность начального разрушения.

Перспективы применения композитов, составленных из различных субструктурных элементов и существенно отличающихся по своим механическим свойствам, связаны с новыми технологическими решениями в различных отраслях промышленности. Поэтому особую актуальность приобретает задача прогнозирования прочности макронеоднородных материалов по известным свойствам компонентов, их концентрации и расположению в пространстве.

Литература по исследованию прочности композитных материалов достаточно обширна, поэтому укажем источники [1–9], в которых представлены более полные списки работ по данному вопросу. Не анализируя различия используемых методов и моделей, отметим только, что часть этих работ относится к исследованию разрушения анизо- тропных материалов на основе феноменологических критериев прочности, а другая часть содержит элементы структурного анализа, в частности тради-ционного послойного анализа. В этих работах при выводе определяющих соотношений, как правило, используется либо закон смесей, либо предположения Фойгта или Рейсса.

Основные соотношения и алгоритм исследования прочности структурно-неоднородных композитов. Для исследования прочности структурно-неоднородных материалов будем использовать обобщенный закон Гука, полученный в [10], на основе корректно сформулированных условий сопряжения на границах раздела фаз в общем случае пространственного напряженного состояния.

В частности, для композита, состоящего из M продольных фаз (рис. 1) при плоском напряженном состоянии, т. е. при нагружении в плоскости n_1On_3 усилиями $\sigma_1, \sigma_3, \sigma_5$, учитывая соотношения из [10], имеем следующие выражения для напряжений в элементах композиции:

$$\sigma_i^{(s)} = B_{i1}^{(s)}\sigma_1 + B_{i3}^{(s)}\sigma_3,\ \sigma_5^{(s)} = \sigma_5,\ \sigma_2^{(s)} = \sigma_4^{(s)} = \sigma_6^{(s)} = 0,\quad i = 1,3,\ s = 1,2,\ldots,M, \tag{1}$$

где

$$B_{ji}^{(s)} = b_{1i}\beta_{1j}^{(s)} + b_{i3}\beta_{3j}^{(s)},\ j = 1,3,$$

здесь

$$B_{55}^{(s)} = \left[a_{55}^{(s)}\sum_{s=1}^{M}\frac{\omega_s}{a_{55}^{(s)}}\right]^{-1},\ \beta_{11}^{(s)} = \frac{a_{33}^{(s)}}{\Delta_{13}^{(s)}},\ \beta_{33}^{(s)} = \frac{a_{11}^{(s)}}{\Delta_{13}^{(s)}},$$

$$\beta_{12}^{(s)} = \frac{a_{13}^{(s)}a_{23}^{(s)} - a_{12}^{(s)}a_{33}^{(s)}}{\Delta_{13}^{(s)}},\quad \beta_{32}^{(s)} = \frac{a_{12}^{(s)}a_{13}^{(s)} - a_{11}^{(s)}a_{23}^{(s)}}{\Delta_{13}^{(s)}},$$

$$\beta_{13}^{(s)} = \beta_{31}^{(s)} = -\frac{a_{13}^{(s)}}{\Delta_{13}^{(s)}},\ \Delta_{13}^{(s)} = a_{11}^{(s)}a_{33}^{(s)} - \left(a_{13}^{(s)}\right)^2, \tag{2}$$

$$b_{kl} = \frac{\left|\overline{A}_{kl}\right|}{\left|A_{kl}\right|},\quad k,l = 1,2,3, \tag{3}$$

$\left|A_{kl}\right|$ – определитель матрицы $\left(A_{kl}\right)$, $\left|\overline{A}_{kl}\right|$ – алгебраическое дополнение к элементу A_{kl} матрицы $\left(A_{kl}\right)$, при этом элементы матрицы $\left(A_{kl}\right)$ имеют вид

$$A_{ji} = \gamma_{ji} + \gamma_{j2}A_{2i},\ i,j = 1,3,$$

$$A_{12} = A_{21} = -A_{22}\cdot\sum_{s=1}^{M}\omega_s\delta_{21}^{(s)},$$

$$A_{22} = \left(\sum_{s=1}^{M}\omega_s\delta_{22}^{(s)}\right)^{-1},\ A_{23} = A_{32} = \gamma_{32}A_{22}, \tag{4}$$

$$\gamma_{ij} = \sum_{s=1}^{M}\omega_s\beta_{ij}^{(s)},\ i = 1,3,\ j = 1,2,3,$$

$$\delta_{21}^{(s)} = a_{12}^{(s)}\beta_{11}^{(s)} + a_{23}^{(s)}\beta_{13}^{(s)},$$

$$\delta_{22}^{(s)} = a_{12}^{(s)}\beta_{12}^{(s)} + a_{23}^{(s)}\beta_{32}^{(s)} + a_{22}^{(s)}.$$

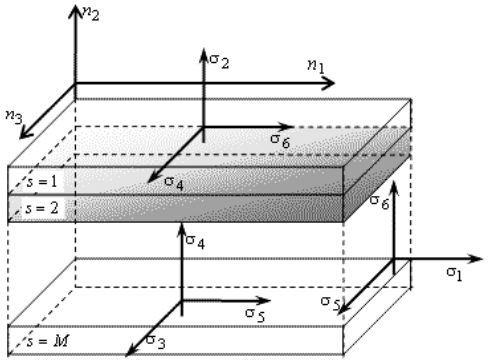


Рис. 1. Характерный структурный элемент композита с продольным расположением M фаз

Здесь и далее для напряжений используются матричные обозначения из [9; 10]; верхний индекс s обо-

значает принадлежность соответствующей величины к s-й фазе; $a_{ij}^{(s)}$, $i,j=1,2,3,4,5,6$, $a_{ij}^{(s)}=a_{ji}^{(s)}$ – коэффициенты податливости в обобщенном законе Гука для материала s-й фазы:

$$\varepsilon_i^{(s)}=a_{ij}^{(s)}\sigma_j^{(s)} \tag{5}$$

(суммирование производится по повторяющимся индексам); ω_s – удельное объемное содержание s-й фазы, $\sum_{s=1}^{M}\omega_s=1$.

В случае поперечного расположения M фаз, когда граница раздела фаз параллельна плоскости n_2On_3 (см. рис. 1) для рассматриваемого плоского напряженного состояния выражения для напряжений в элементах субструктуры определяются следующим образом [10]:

$$\sigma_1^{(s)}=\sigma_1,\ \sigma_i^{(s)}=B_{i1}^{(s)}\sigma_1+B_{i3}^{(s)}\sigma_3,$$
$$\sigma_5^{(s)}=\sigma_5,\ \sigma_4^{(s)}=\sigma_6^{(s)}=0,\ i=2,3,\ s=1,2,\ldots,M, \tag{6}$$

где

$$B_{i1}^{(s)}=b_{12}\beta_{i2}^{(s)}+b_{13}\beta_{i3}^{(s)}+\beta_{i1}^{(s)},$$
$$B_{i3}^{(s)}=b_{23}\beta_{i2}^{(s)}+b_{33}\beta_{i3}^{(s)},i=2;3,$$

здесь

$$\beta_{21}^{(s)}=\frac{a_{13}^{(s)}a_{23}^{(s)}-a_{12}^{(s)}a_{33}^{(s)}}{\Delta_{23}^{(s)}},$$
$$\beta_{22}^{(s)}=\frac{a_{33}^{(s)}}{\Delta_{23}^{(s)}},\quad \beta_{23}^{(s)}=\beta_{32}^{(s)}=-\frac{a_{23}^{(s)}}{\Delta_{23}^{(s)}},$$
$$\beta_{31}^{(s)}=\frac{a_{12}^{(s)}a_{23}^{(s)}-a_{13}^{(s)}a_{22}^{(s)}}{\Delta_{23}^{(s)}},\quad \beta_{33}^{(s)}=\frac{a_{22}^{(s)}}{\Delta_{23}^{(s)}}, \tag{7}$$
$$\Delta_{23}^{(s)}=a_{22}^{(s)}a_{33}^{(s)}-\left(a_{23}^{(s)}\right)^2,$$

коэффициенты b_{kl}, $k,l=1,2,3$, определяются, так же как в (3), при этом элементы матрицы $\left(A_{kl}\right)$ имеют вид

$$A_{11}=\sum_{s=1}^{M}\omega_s\delta_{11}^{(s)},\ A_{1i}=-A_{11}\cdot\sum_{s=1}^{M}\omega_s\delta_{1i}^{(s)},\ i=2,3,$$
$$A_{ji}=\gamma_{ji}+\gamma_{j1}A_{1i},\ i,j=2,3,$$
$$\gamma_{ij}=\sum_{s=1}^{M}\omega_s\beta_{ij}^{(s)},\ i=2,3,\ j=1,2,3, \tag{8}$$
$$\delta_{11}^{(s)}=a_{11}^{(s)}+a_{12}^{(s)}\beta_{21}^{(s)}+a_{13}^{(s)}\beta_{31}^{(s)},$$
$$\delta_{1i}^{(s)}=a_{12}^{(s)}\beta_{2i}^{(s)}+a_{13}^{(s)}\beta_{3i}^{(s)},\ i=2,3.$$

На основе структурного подхода [6] проведем анализ прочности многофазного композита. При этом будем полагать, что для каждого субструктурного элемента выполняется условие прочности П. П. Баландина [11], которое позволяет учитывать различные пределы прочности при растяжении $\sigma_+^{(s)}$ и сжатии $\sigma_-^{(s)}$ материала s-й фазы.

В случае продольного расположения фаз (см. рис. 1) имеем следующее условие прочности для материала s-й фазы:

$$\left(\sigma_1^{(s)}\right)^2+\left(\sigma_3^{(s)}\right)^2-\sigma_1^{(s)}\sigma_3^{(s)}+3\left(\sigma_5^{(s)}\right)^2+$$
$$+\left(\sigma_-^{(s)}-\sigma_+^{(s)}\right)\left(\sigma_1^{(s)}+\sigma_3^{(s)}\right)=\sigma_-^{(s)}\cdot\sigma_+^{(s)}, \tag{9}$$

а для поперечного расположения фаз – условия прочности

$$\sigma_1^2+\left(\sigma_2^{(s)}\right)^2+\left(\sigma_3^{(s)}\right)^2-\sigma_1\sigma_2^{(s)}-\sigma_1\sigma_3^{(s)}-\sigma_2^{(s)}\sigma_3^{(s)}+$$
$$+3\sigma_5^2+\left(\sigma_-^{(s)}-\sigma_+^{(s)}\right)\left(\sigma_1+\sigma_2^{(s)}+\sigma_3^{(s)}\right)=\sigma_-^{(s)}\cdot\sigma_+^{(s)}, \tag{10}$$
$$s=1,2,\ldots,M.$$

Для построения условия прочности макронеоднородного композита в пространстве внешних усилий $\sigma_1O\sigma_3\sigma_5$ воспользуемся алгоритмом [12]. Примем

$$\sigma_i=L_ip,\ \sum_{1=1,3,5}\left|L_i\right|=1,\ L_i\in[-1;1], \tag{11}$$

где L_i – интенсивность i-го типа внешнего воздействия, $i=1,3,5$; $p>0$ – параметр нагружения. Тогда из (9) и (10), учитывая (1), (6) и (11) при фиксированных L_i, получим величину параметра нагружения $p_b^{(s)}$, отвечающую началу разрушения s-й фазы:

$$p_b^{(s)}=\frac{-C^{(s)}+\sqrt{\left(C^{(s)}\right)^2+4\sigma_+^{(s)}\sigma_-^{(s)}A^{(s)}}}{2A^{(s)}}, \tag{12}$$
$$s=1,2,...,M,$$

где выражения для $A^{(s)}$ и $C^{(s)}$ в случае продольного расположения фаз имеют вид

$$A^{(s)}=\left(\varphi_1^{(s)}\right)^2+\left(\varphi_3^{(s)}\right)^2-\varphi_1^{(s)}\varphi_3^{(s)}+3\left(\varphi_5^{(s)}\right)^2,$$
$$C^{(s)}=\left(\sigma_-^{(s)}-\sigma_+^{(s)}\right)\left(\varphi_1^{(s)}+\varphi_3^{(s)}\right), \tag{13}$$
$$\varphi_i^{(s)}=B_{i1}^{(s)}L_1+B_{i3}^{(s)}L_3,\ i=1,3,\ \varphi_5^{(s)}=B_{55}^{(s)}L_5,$$

$B_{ij}^{(s)}$, $i,j=1,3,5$, определены в (1)…(4), а в случае поперечного расположения фаз – вид

$$A^{(s)}=L_1^2+\left(\varphi_2^{(s)}\right)^2+\left(\varphi_3^{(s)}\right)^2+3L_5^2-$$
$$-L_1\left(\varphi_2^{(s)}+\varphi_3^{(s)}\right)-\varphi_2^{(s)}\varphi_3^{(s)},$$
$$C^{(s)}=\left(\sigma_-^{(s)}-\sigma_+^{(s)}\right)\left(L_1+\varphi_2^{(s)}+\varphi_3^{(s)}\right), \tag{14}$$
$$\varphi_i^{(s)}=B_{i1}^{(s)}L_1+B_{i3}^{(s)}L_3,$$

$B_{ij}^{(s)}$, $i=1,2$, $j=1,3$, определены в (6)…(8).

Величину нагрузки p_b, соответствующую началу разрушения композита, представим следующим образом:

$$p_b=\min_s\left\{p_b^{(s)}\right\},\ s=1,2,\ldots,M. \tag{15}$$

Тогда, учитывая первые соотношения из (11) и (15), найдем внешние усилия, при которых начинается разрушение многофазного материала:

$$\sigma_{ib} = L_i p_b, \quad i = 1,3,5. \tag{16}$$

Затем, придавая коэффициентам L_i все возможные значения из второго соотношения (11), получим поверхность прочности композита в пространстве внешних усилий $\sigma_{1b}O\sigma_{3b}\sigma_{5b}$.

Анализ влияния структуры многофазной среды на условие начального разрушения композита. В качестве примера рассмотрим структурно-неоднородный материал в случае $M = 2$, обе фазы которого являются различными трансверсально изотропными материалами. Тогда имеем следующие выражения для коэффициентов податливости [9]:

$$a_{ii}^{(s)} = \frac{1}{E_1^{(s)}}, \; a_{i3}^{(s)} = -\frac{\nu_2^{(s)}}{E_2^{(s)}}, \quad i = 1,2,$$

$$a_{12}^{(s)} = -\frac{\nu_1^{(s)}}{E_1^{(s)}}, \quad a_{33}^{(s)} = \frac{1}{E_2^{(s)}},$$

$$a_{jj}^{(s)} = \frac{1}{G_2^{(s)}}, \; j = 4,5, \quad a_{66}^{(s)} = \frac{1}{G_2^{(s)}},$$

$$G_1^{(s)} = \frac{E_1^{(s)}}{2\left(1+\nu_1^{(s)}\right)}, \; s = 1,2,$$

где $E_1^{(s)}, E_2^{(s)}$ – модули Юнга; $G_1^{(s)}, G_2^{(s)}$ – модули сдвига; $\nu_1^{(s)}, \nu_2^{(s)}$ – коэффициенты Пуассона материала s-й фазы.

Конкретные вычисления были проведены при следующих значениях параметров:

$$\begin{gathered} \bar{E}_1^{(1)} = 15; \; \bar{E}_1^{(2)} = 1; \; \bar{E}_2^{(1)} = 5; \; \bar{E}_2^{(2)} = 3; \\ \bar{G}_2^{(1)} = 1; \quad \bar{G}_2^{(2)} = 0,25; \\ \nu_1^{(1)} = \nu_1^{(2)} = \nu_2^{(1)} = \nu_2^{(2)} = 0,25; \\ \bar{\sigma}_+^{(1)} = 10; \; \bar{\sigma}_-^{(1)} = 30; \; \bar{\sigma}_-^{(2)} = 3, \end{gathered} \tag{17}$$

где $\bar{E}_i^{(s)} = \dfrac{E_i^{(s)}}{E_0}, \quad i = 1,2, \quad s = 1,2; \qquad \bar{G}_2^{(s)} = \dfrac{G_2^{(s)}}{E_0};$

$\bar{\sigma}_\pm^{(s)} = \dfrac{\sigma_\pm^{(s)}}{\sigma_0}; \; \bar{\sigma}_{jb} = \dfrac{\sigma_{jb}}{\sigma_0}, \; j = 1,3,5,$ здесь σ_0, E_0 – постоянные размерности напряжения.

Поверхности прочности макронеоднородного композита и их сечения плоскостью $\sigma_{5b} = 0$, определенные в соответствии с параметрами (17), представлены ниже (рис. 2–6).

На рис. 3, 5, 6 для сплошных кривых, в силу ограниченности размеров рисунков, приведена лишь часть соответствующих эллипсов. Вид начального разрушения указан около каждого гладкого участка кривой: символ ① отмечает начало разрушения композитного материала вследствие разрушения 1-й фазы, символ ② – вследствие разрушения 2-й фазы, угловые точки кривой отвечают одновременному разрушению 1-й и 2-й фаз.

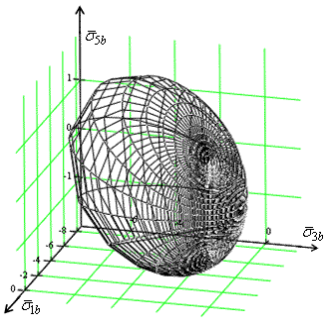


Рис. 2. Поверхность прочности макронеоднородного композита в случае поперечного расположения фаз ($\omega_1 = 0,2$, $\bar{\sigma}_+^{(2)} = 1$)

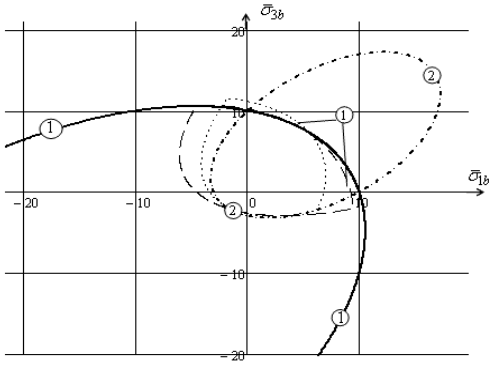


Рис. 3. Сечение поверхности прочности двухфазного композита плоскостью $\bar{\sigma}_{5b} = 0$ в случае поперечного расположения фаз ($\bar{\sigma}_+^{(2)} = 10$):
—— – $\omega_1 = 1$; ⋯ – $\omega_1 = 0,2$; ---- – $\omega_1 = 0,8$; –·– – $\omega_1 = 0$

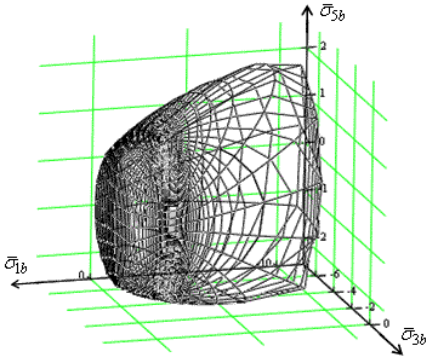


Рис. 4. Поверхность прочности макронеоднородного композита в случае продольного расположения фаз ($\omega_1 = 0,2$, $\bar{\sigma}_+^{(2)} = 1$)

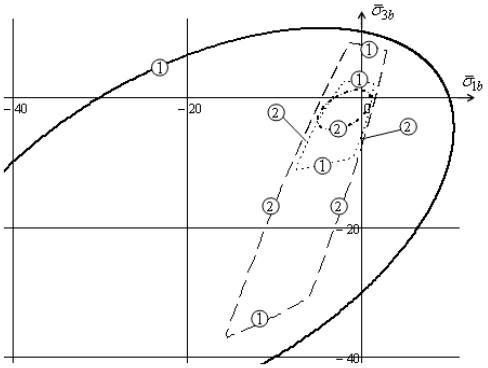


Рис. 5. Сечение поверхности прочности двухфазного композита плоскостью $\bar{\sigma}_{5b} = 0$ в случае продольного расположения фаз ($\bar{\sigma}_{+}^{(2)} = 1$):
—— – $\omega_1 = 1$; ⋯ – $\omega_1 = 0{,}2$; ---- – $\omega_1 = 0{,}8$; –·– – $\omega_1 = 0$

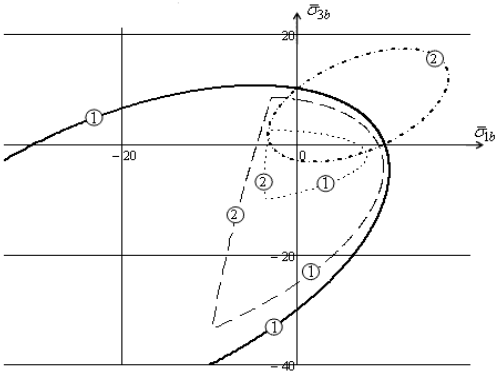


Рис. 6. Сечение поверхности прочности двухфазного композита плоскостью $\bar{\sigma}_{5b} = 0$ в случае продольного расположения фаз ($\bar{\sigma}_{+}^{(2)} = 10$):
—— – $\omega_1 = 1$; ⋯ – $\omega_1 = 0{,}2$; ---- – $\omega_1 = 0{,}8$; –·– – $\omega_1 = 0$

Анализ полученных результатов (см. рис. 2–6) и расчеты для различных макронеоднородных композитов показали, что за счет изменения характера анизотропии субструктурных элементов, их объемного содержания и взаимного расположения можно целенаправленно проектировать многофазные материалы с требуемыми по условиям эксплуатации прочностными свойствами.

Библиографические ссылки

1. Малмейстер А. К., Тамуж В. П., Тетерс Г. А. Сопротивление жестких полимерных материалов. Рига : Зинатне, 1967.

2. Ашкенази Е. К. Анизотропия машино-строительных материалов. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1969.

3. Ву Э. Феноменологические критерии разрушения анизотропных сред. Т. 2 : Механика композиционных матералов / под ред. Дж. Сендецки. М. : Мир, 1978.

4. Прочность и разрушение композитных материалов : тр. 2-го Сов.-амер. симп. Рига : Зинатне, 1983.

5. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов. М. : Мир, 1982.

6. Немировский Ю. В., Резников Б. С. Прочность элементов конструкций из композитных материалов. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1986.

7. Максименко В. Н., Олегин И. П. Теоретические основы методов расчета прочности элементов конструкций из композитов. Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2006.

8. Полилов А. Н. Этюдные задачи механики композитов : учеб. пособие / Учеб.-науч. испытат. комплекс для техн. ун-тов Москвы ; Ин-т машиноведения Рос. акад. наук. М., 2004.

9. Шермергор Т. Д. Теория упругости микронеоднородных сред. М. : Наука, 1977.

10. Резников Б. С., Никитенко А. Ф., Кучеренко И. В. Прогнозирование макроскопических свойств структурно-неоднородных сред // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 2. С. 10–17.

11. Баландин П. П. К вопросу о гипотезах прочности // Вестн. инженеров и техников. 1937. № 1. С. 19–24.

12. Резников Б. С. Прогнозирование разрушения кольцевых пластин с учетом реальной структуры и стохастической природы армированного материала // Краевые задачи и их приложения : сб. науч. тр. / Чуваш. гос. ун-т. Чебоксары, 1989. С. 89–99.

V. N. Maksimenko, B. S. Reznikov, O. V. Sheremet

STRUCTURAL ANALYSIS OF DURABILITY OF MACROHETEROGENEOUS SOLIDS UNDER PLANE STRESS STATE

The authors propose a method, based on the structural approach, for construction of a surface of resistance, in an interspace of characteristics of external action. The authors take into account physical correlations for a composite material which take into account the correctly formulated boundary conditions at the interface between phases. A numerical analysis is performed to study the effect of anisotropic properties of the substructural elements, their strength, volume fraction, and relative position, on the rupture of a composite material.

Keywords: macroheterogeneous composites, initial failure surface.

© Максименко В. Н., Резников Б. С., Шеремет О. В., 2012

УДК 621.501.14

А. М. Михеенко, Е. С. Абрамова, А. С. Гусельников, И. И. Павлов, С. С. Абрамов

АНАЛИЗ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ВЫХОДНОЙ ЦЕПИ ДВУХТАКТНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ КЛАССА D

Рассмотрены процессы в выходной цепи мощных двухтактных усилителей класса D, работающих при низких тактовых частотах. Показано, что вследствие резонансных явлений, обусловленных выходной емкостью активных элементов двухтактной схемы, возможно существенное снижение коммутативных потерь в режиме молчания. Полученные соотношения позволяют определить оптимальную тактовую частоту в зависимости от длительности фронта импульсов выходного напряжения.

Ключевые слова: усилитель класса D, резонанс в выходной цепи усилителя, коммутативные потери, оптимальная тактовая частота.

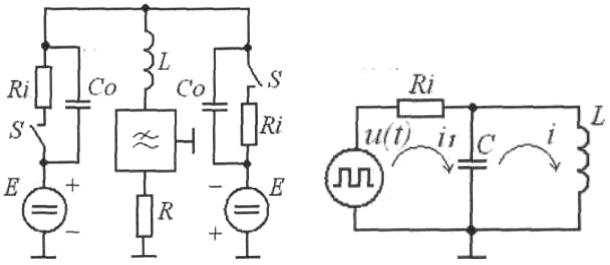
В усилителях (модуляторах) класса D, основанных на импульсном методе усиления сигналов [1], потери энергии определяются внутренним сопротивлением активных элементов (ключей) и коммутативными процессами, обусловленными главным образом перезарядом выходных емкостей ключей C_0. В частности, в двухтактных усилителях при отсутствии усиливаемых сигналов, т. е. в режиме молчания, потери энергии и потребление от источника питания практически полностью определяются коммутативными процессами.

С увеличением тактовой частоты ω коммутативные потери должны расти. Однако при экспериментальном исследовании двухтактного усилителя был обнаружен отчетливо регистрируемый минимум потребляемой энергии в определенной области значений ω. Это обстоятельство дало основание предположить, что в выходной цепи усилителя имеют место резонансные явления, учет которых позволит увеличить КПД усилителя. Для этого необходимо определить зависимость резонансных явлений от основных параметров схемы усилителя, а также от частоты и формы импульсов выходной тактовой последовательности.

Анализ схемы двухтактного усилителя класса D. Поскольку явление резонанса наиболее отчетливо проявляется в режиме молчания, то дальнейший анализ будет выполнен именно для этого режима.

Воспользуемся упрощенной схемой двухтактного усилителя (рис. 1, *а*), в которой ключи S в идеализированной форме представляют активные элементы и обратные диоды, обеспечивающие непрерывность тока в дросселе L. Также предполагается, что в открытом состоянии внутренние сопротивления активных элементов и диодов равны и постоянны. Такая идеализация весьма условна, но может быть принята, поскольку она существенно не скажется на характере исследуемых процессов.

В режиме молчания усилителю соответствует эквивалентная схема (рис. 1, *б*), в которой нагрузочная цепь представлена входной индуктивностью фильтра нижних частот L, а электронные ключи заменены генератором импульсного сигнала $u(t)$ со скважностью 2, внутренним сопротивлением R_i и выходной емкостью $C = 2C_0$.



а *б*

Рис. 1. Упрощенная (*а*) и эквивалентная (*б*) схемы двухтактного усилителя класса D

Запишем для эквивалентной схемы следующие дифференциальные уравнения:

$$\frac{d_i^2}{d\tau^2}+\frac{1}{v\omega_0 CR_i}\cdot\frac{d_i}{d\tau}+\frac{i}{v^2}=\frac{u(\tau)}{R_i v^2}, \qquad (1)$$

$$\frac{d_i^2}{d\tau^2}+\frac{i}{v^2}=\frac{i_1}{R_i v^2}, \qquad (2)$$

где $\tau = \omega t$; $u(\tau) = E...$ $(\pi > \tau > 0)$; $u(\tau) = -E...(\pi < \tau < 2\pi)$; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; $v = \frac{\omega}{\omega_0}$.

На интервале $2l\pi < \tau < (2l + 1)\pi$, … ($l = 0, 1, 2, 3, ...$) решение (1) в установившемся в режиме имеет вид

$$\frac{i\cdot R_i}{E}=1-\frac{e^{n_1\left(\tau-\frac{\pi}{2}\right)}}{\left(1-\frac{n_1}{n_2}\right)\mathrm{ch}\left(n_1\frac{\pi}{2}\right)}-\frac{e^{n_2\left(\tau-\frac{\pi}{2}\right)}}{\left(1-\frac{n_2}{n_1}\right)\mathrm{ch}\left(n_2\frac{\pi}{2}\right)}, \qquad (3)$$

где n_1, n_2 – корни характеристического уравнения (1).

На интервале $(2l + l)\pi < \tau < (l + 1)\,2\pi$ обозначим $i = i'$. Тогда согласно [2]

$$i' = -i(\tau - \pi). \qquad (4)$$

Ток i_1 определим в соответствии с (3):

$$\frac{i_1\cdot R_i}{E}=1-\frac{e^{n_1\left(\tau-\frac{\pi}{2}\right)}}{\mathrm{ch}\left(n_1\frac{\pi}{2}\right)}-\frac{e^{n_2\left(\tau-\frac{\pi}{2}\right)}}{\mathrm{ch}\left(n_2\frac{\pi}{2}\right)}. \qquad (5)$$

Аналогично (4) получим

$$i'_1 = -i_1(\tau - \pi). \qquad (6)$$

Мощность потерь в ключевых элементах усилителя. Определим мощность потерь в ключевых элементах усилителя:

$$P = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} i_1^2 \cdot R_i d\tau + \int_{\pi}^{2\pi} i_1'^2 \cdot R_i d\tau\right] = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \frac{E^2}{R_i}\left(\frac{i_1 \cdot R_i}{E}\right)^2 d\tau,$$

Подставляя значение i_1 из (5), получим

$$\frac{PR_i}{E^2} = 1 + \frac{2}{\pi}\left(\frac{2}{n_1+n_2} - \frac{1}{n_1}\right)\mathrm{th}\left(n_1\frac{\pi}{2}\right) + \\ + \frac{2}{\pi}\left(\frac{2}{n_1+n_2} - \frac{1}{n_2}\right)\mathrm{th}\left(n_2\frac{\pi}{2}\right), \quad (7)$$

Предположим, что фильтр нижних частот с частотой среза ωc согласован с нагрузкой и $\omega cL = R$. Обозначим отношение $\omega/\omega c$ через q и введем понятие электронного КПД усилителя:

$$\eta = \frac{R}{R_i + R}.$$

Тогда для корней характеристического уравнения n_1, n_2 получим следующее выражение:

$$n_{1,2} = \frac{q\eta}{2v^2(1-\eta)}\left(-1 \pm \sqrt{1 - \frac{4v^2(1-\eta)^2}{q^2\eta^2}}\right). \quad (8)$$

При $q > 2$ и $\eta \to 1$

$$n_1 \approx -\frac{1-\eta}{q\eta}, \qquad n_2 \approx -\frac{q\eta}{v^2(1-\eta)}.$$

При неизменной тактовой частоте параметр $v^2 = \omega^2 LC$ пропорционален емкости C.

В частном случае, когда $q = 3$ и $\eta = 0{,}8$, резонансные явления отсутствуют (см. график зависимости коммутативных потерь от выходной емкости на рис. 2, *а*, показанный пунктирной линией).

Рассмотрим зависимость коммутативных потерь от тактовой частоты ω. Для этого введем параметр $m = \omega_0/\omega c$. Тогда выражение для корней характеристического уравнения примет вид

$$n_{1,2} = \frac{m\eta}{2v(1-\eta)}\left(-1 \pm \sqrt{1 - \frac{4(1-\eta)^2}{m^2\eta^2}}\right). \quad (9)$$

Полагая, как и в предыдущем случае, $m > 2$ и $\eta \to 1$, получим

$$n_1 \approx -\frac{1-\eta}{m\eta}v, \qquad n_2 \approx -\frac{m\eta}{v(1-\eta)}.$$

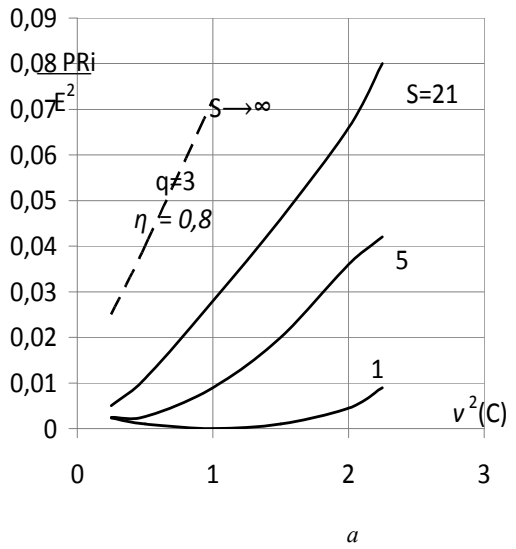
При фиксированной частоте паразитного контура параметр $v = \omega\sqrt{LC}$ пропорционален тактовой частоте.

Анализ зависимости коммутативных потерь от тактовой частоты, построенной на основании (7) и (9), для частного случая $m = 3$ и $\eta = 0{,}8$ (рис. 2, *б*) показывает, что в этом случае возникают резонансные явления, причем минимум потерь (и потребляемой мощности) соответствует тактовой частоте, которая примерно в 1,5 раза превышает частоту паразитного резонанса.

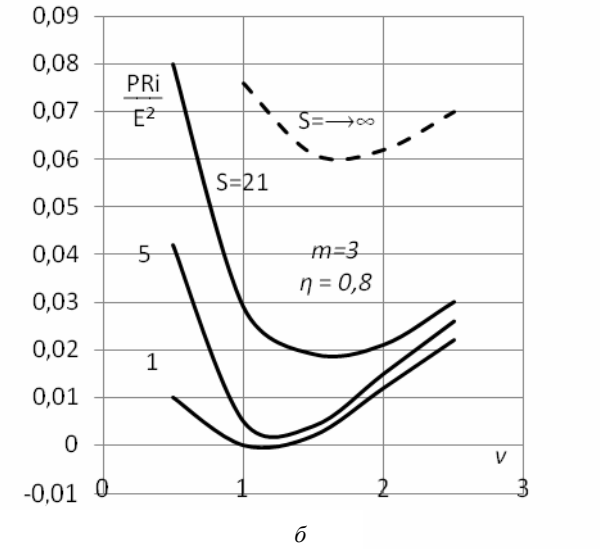
Анализ потерь в усилителе при конечной длительности фронтов выходной импульсной последовательности. Как было установлено выше, при исследовании зависимости потерь от выходной емкости резонансные явления не были обнаружены. Вместе с тем очевидно, что при замене в схеме (см. рис. 1, *б*) генератора меандра на генератор синусоидального сигнала резонанс должен иметь место. Следовательно, погрешность исходных предположений заключается в идеализации формы напряжения эквивалентного генератора.

Для проверки этой гипотезы воспользуемся представлением $u(\tau)$ в виде гармонического ряда [2]:

$$u(\tau) = \frac{4E}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin(2\pi - 1)\tau}{2n-1}. \quad (10)$$



а



б

Рис. 2. Зависимость коммутативных потерь в усилителе от выходной емкости (*а*) и тактовой частоты (*б*)

Удерживая в разложении (10) конечное число членов, определим потери в ключевых элементах. Для этого найдем модуль сопротивления нагрузочной цепи генератора для каждой гармоники $u(\tau)$:

$$Z(n) = R_i + \frac{j\omega nL}{1-\omega^2 LCn^2},$$

откуда

$$|Z(n)| = R_i \sqrt{1-\frac{1}{R_i^2}\left[\frac{n\omega L}{1-n^2\omega^2 LC}\right]}. \quad (11)$$

Используя принятые ранее обозначения и (11), определим гармоники тока i_1 согласно (10):

– при изменении выходной емкости v^2

$$I_1 k = \frac{4E}{k\pi|Z(k)|} = \frac{4E}{R_i k\pi\sqrt{1+\left[\frac{kq\eta}{(1-\eta)(1-k^2v^2)}\right]^2}}; \quad (12а)$$

– при изменении частоты v

$$I_1 k = \frac{4E}{R_i k\pi\sqrt{1+\left[\frac{km\eta v}{(1-\eta)(1-k^2v^2)}\right]^2}}, \quad (12б)$$

где $k = 2n - 1$.

По аналогии с (7) мощность потерь можно определить следующим образом:

$$\frac{PR_i}{E^2} = \sum_{k=1}^{s}\frac{1}{2}I^2 1k \cdot R_i \frac{R_i}{E^2} = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{s}\left(\frac{I_1 kR_i}{E}\right)^2, \quad (13)$$

где S – номер высшей гармоники, удерживаемой в разложении (10) и связанный с длительностью фронта импульсов выходного напряжения Δt. Для этого можно воспользоваться приближенной формулой

$$\Delta t \approx 0,4\frac{\pi}{\omega \cdot S}.$$

Результаты расчета согласно (13) представлены на рис. 2.

Из анализа графика на рис. 2, *а* следует, что при конечной длительности фронта $u(t)$ ($S < 5$), резонансные явления возможны и при изменении выходной емкости усилителя.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– при оптимальном выборе тактовой частоты в режиме молчания возможно существенное сокращение энергии, потребляемой усилителем;

– резонансные явления в выходной цепи усилителя класса D проявляются тем сильнее, чем больше длительность фронта импульсного напряжения. Однако необходимо иметь в виду, что затягивание фронта тактовых импульсов ведет к росту прямых потерь в режиме усиления сигналов;

– заметный эффект может быть получен, если увеличивать длительность фронта в паузах усиливаемого сигнала.

Библиографические ссылки

1. Агеев Д. В., Маланов В. В., Полов К. П. Новый высокоэффективный импульсный усилитель мощности колебаний звуковой частоты // Радиотехника. 1958. Т. 13, № 6. С. 47–51.

2. Заездный А. М. Гармонический синтез в радиотехнике и электросвязи. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1961.

A. M. Miheenko, E. S. Abramova, A. S. Guselnikov, I. I. Pavlov, S. S. Abramov

ANALYSIS OF THE RESONANCE PHENOMENAS IN OUTPUT CIRCUIT OF A DUO-DIRECTIONAL POWER AMPLIFIER OF D CLASS

The authors consider processes in output circuit of duo-directional amplifiers of the class D, being in operation at low frequency [1. The authors reveal that in consequence of resonance phenomena, conditioned with output capacity of active elements of a duo-directional scheme, it's possible to reasonably reduce commutative losses in a «silence» mode. The correlations obtained allow to estimate the optimum clock rate in relation to duration of output voltage impulse front.

Keywords: amplifier of D class, resonance in an amplifier output circuit, commutative losses, optimum clock rate.

© Михеенко А. М., Абрамова Е. С., Гусельников А. С., Павлов И. И., Абрамов С. С., 2012

УДК 621.313.322

Д. И. Морозов, Е. В. Карпенко, Н. А. Колбасина

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОСКОРОСТНОГО ТОРЦЕВОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА*

Рассмотрены особенности построения расчетной модели активного объема низкоскоростного торцевого синхронного генератора с продольным намагничиванием полюсов ротора постоянными магнитами, интегрированного программного комплекса, реализующего данную модель, и модуля многокритериальной оптимизации геометрических параметров для автоматизированного создания твердотельных параметризованных моделей.

Ключевые слова: низкоскоростной торцевой синхронный генератор, многокритериальная оптимизация.

В настоящее время энергетическая отрасль России в значительной степени не обеспечивает потребности населения и промышленности как в объеме предоставляемых услуг, так и в их качестве. Как отмечают специалисты, сегодня россияне используют промышленные и экономические ресурсы доперестроечных времен. Общий уровень износа электростанций и линий электропередач по стране в целом превышает 53 %, по Красноярскому краю – 60 %. Среднегодовой ввод генерирующих мощностей по России в 26,4 раза ниже соответствующего показателя в энергетике, например, Китая, но даже этот уровень обеспечивается в основном за счет районов, прилегающих к большим городам. Удовлетворение потребности в электроэнергии в Красноярском крае в бытовой сфере на 15 % ниже, чем в промышленности. Низкий уровень этого показателя обусловлен наличием значительного количества территорий с преобладанием малых населенных пунктов, удаленных от основных линий электропередач, особенно в районе Нижнего Приангарья и в среднем течении Енисея [1].

Для имеющихся систем энергообеспечения Красноярского края среди прочих особенностей характерны:

– большая степень изношенности энергооборудования: источников, распределительных сетей и систем энергопотребления зданий и сооружений;

– крайняя неэффективность сферы потребления электрической энергии: нерегулируемый электропривод, неэкономичные режимы систем освещения, значительные потери в системах распределения и потребления;

– отсутствие стимулов к энергосбережению.

Проблема электроснабжения маломощных потребителей электроэнергии, особенно удаленных от линий электропередач, может быть решена за счет использования малых рек с необходимым запасом гидроресурсов. Наиболее экономичными и легко заменяемыми являются свободнопоточные погружные микроГЭС. Погружные микроГЭС круглогодичного действия удобны для небольших поселков, геологических партий, фермерских хозяйств. Они могут работать параллельно с дизельными электростанциями, существенно сокращая расход дизельного топлива или заменяя последние в случае аварии.

Необходимые гидрологические параметры для установки предлагаемой конструкции следующие: скорость течения реки – не менее 1,8 м/с; глубина реки – не менее 1,5 м, ширина участка с требуемой глубиной – не менее 10 м.

Спроектированная при заданных условиях турбина в зависимости от скорости течения реки обеспечивает выходные мощности от 10 до 30 кВт при напряжении трехфазного переменного тока 220/380 В с частотой 50 Гц.

На территории Красноярского края, обладающего колоссальными гидроресурсами (включая не только большие, но и малые реки), возможно применение свободнопоточных микроГЭС мощностью до 25…30 кВт и выше.

Турбина свободнопоточной микроГЭС в зависимости от скорости реки и мощности установки вращается со скоростью 80…200 об/мин. Ветроколесо аналогичной мощности имеет примерно ту же частоту вращения.

До настоящего времени производство свободнопоточных микроГЭС сдерживалось из-за отсутствия низкоскоростного генератора малой мощности.

Выпускаемые промышленностью генераторы переменного тока мощностью от 1 до 50 кВт рассчитаны на скорости 750…3 000 об/мин и для их механической связи с турбиной необходима установка повышающей передачи (мультипликатора) между турбиной и генератором – сложного и дорогого звена (стоимость мультипликатора составляет до 50 % стоимости всей установки), требующего обслуживания в процессе эксплуатации.

Авторами была разработана конструкция свободнопоточной погружной микроГЭС, в качестве базового элемента которой используется синхронный генератор новой конструкции, устраняющий повышающую механическую передачу между генератором и турбиной.

*Работа выполнена в рамках гранта Рособрнауки № 02.740.11.0056 «Разработка теории и методологии проектирования электроснабжения энергодефицитных территорий за счет энергии водных источников (2009–2011 гг.)» (шифр заявки 2009-1.1-228-014-019), а также проекта Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности № КФ56 «Проектирование, изготовление, испытания установочной партии микроГЭС и их сертификация (2009–2010 гг.)».

Основные конструктивные особенности предлагаемого низкоскоростного торцевого синхронного генератора (НТСГ) заключаются в следующем [2]:

– возможность изготовления генератора на низкие (70…100 об/мин) частоты вращения за счет увеличения количества полюсов до 50…70;

– автономное выполнение зубцового слоя статора, позволяющее увеличить количество зубцов вследствие уменьшения поперечного размера зубца до толщины пластины стали, существенно снизить высшие гармоники магнитного поля, негативно влияющие на выходные характеристики машины, уменьшить массу и габариты генератора;

– эффективное использование электротехнической стали благодаря отсутствию штамповки с необходимостью выбора оптимального раскроя листа стали (часто в ущерб выходным характеристикам) и повышения электромагнитных нагрузок на участках магнитопровода;

– повышенные плотности тока в обмотках статора за счет применения хорошо охлаждаемой торцевой конструкции;

– замена обмотки возбуждения на возбуждение от постоянных магнитов, уменьшающее расход меди, габариты генератора и улучшающее условия охлаждения;

– рядовая укладка проводников обмотки, снижающая межвитковое напряжение и повышающая надежность двигателя;

– использование в качестве конструкционного материала пластмассы, что существенно упрощает технологию сборки;

– отсутствие скользящих электрических контактов;

– упрощение ряда технологических операций, безотходная технология и применение сравнительно простого станочного оборудования вместо дорогостоящего специализированного технологического оборудования, применяемого при производстве цилиндрических электрических машин;

– переход на другие типоразмеры электрических машин без замены основного оборудования.

Конструктивные решения по низкоскоростному торцевому синхронному генератору защищены патентами РФ 2246167, 2246168, конструкция свободнопоточной микроГЭС – патентом РФ 2247859 [3].

Конструкция автономной энергоустановки за счет использования в ней нового низкоскоростного торцевого генератора и ортогональной турбины транспортабельна, имеет сравнительно небольшие габариты и массу, упрощенную схему монтажа и эксплуатации.

В настоящее время существует большое количество методик расчета нетрадиционных конструкций электрических машин с постоянными магнитами, ориентированных на конкретный тип машины в зависимости от конструкции статора (составной магнитопровод И. П. Копылова, активный распределенный слой В. М. Казанского, гофрированные зубцово-пазовые структуры Ф. М. Юферова) и ротора (ротор «звездочка», ротор с тангенциальными постоянными магнитами и др.).

В Сибирском федеральном университете разработан торцевой синхронный генератор, в котором в качестве обмоточной структуры использован активный распределенный слой статора, предложенный В. М. Казанским, а возбуждение осуществляется от продольно намагниченных постоянных магнитов.

Применение торцевой конструкции генератора снижает массу и габариты машины, позволяет выполнять генератор низких скоростей вращения в виде многополюсной машины с количеством полюсов до 60…70.

Конкурентоспособность изделия на современном этапе достигается за счет многократного сокращения сроков проектирования и обеспечения заданных показателей качества. Выполнение этих требований можно обеспечить при реализации концепции информационной поддержки жизненного цикла изделия, основанной на использовании интегрированной компьютерной среды. Создание такой среды предполагает наличие математических моделей физических процессов, выполненных на уровне программных продуктов, которые обеспечивают синтез параметров и гибкие средства их оптимизации.

Расчетная модель в сочетании с инструментами многокритериальной оптимизации позволяет создать программный комплекс проектирования синхронного генератора, который должен стать компонентом интегрированной компьютерной среды проектирования, исследования, технологической подготовки производства свободнопоточных микроГЭС и их основного компонента – торцевых синхронных генераторов.

Особенности новой конструкции не дают возможности воспользоваться известными методиками расчета цилиндрической электрической машины. Отсюда возникает необходимость в разработке уточненной математической модели торцевого низкоскоростного генератора с учетом вышеперечисленных особенностей и взаимодействия активного распределенного слоя статора с продольно намагниченными постоянными магнитами ротора.

Структура активного объема торцевой электрической машины, используемая для построения расчетной модели, представлена в виде поперечного разреза (рис. 1). При этом каждая из конструктивных зон имеет вид сплошной расчетной полосы с гладкими параллельными границами и характеризуется усредненными однородными либо кусочно-однородными физическими свойствами. Затем все расчетные зоны в порядке их конструктивного чередования смешиваются своими смежными границами, образуя тем самым расчетную модель активного объема машины.

Расчетная модель генератора позволяет сформировать поток данных, необходимых для его проектирования и конструирования:

– энергетические характеристики (мощность, КПД, напряжение, ток статорной обмотки);

– массогабаритные показатели, необходимые для производителя и потребителя машины (масса электротехнической стали, обмоточной меди, магнитов, общая масса машины, ее габаритные размеры);

– геометрические параметры и конструктивные параметры машины (внутренний диаметр и активная длина статора и ротора, диаметр провода, количество витков обмотки статора, размеры магнита, высота ярма статора, воздушный зазор, число полюсов и т. д.).

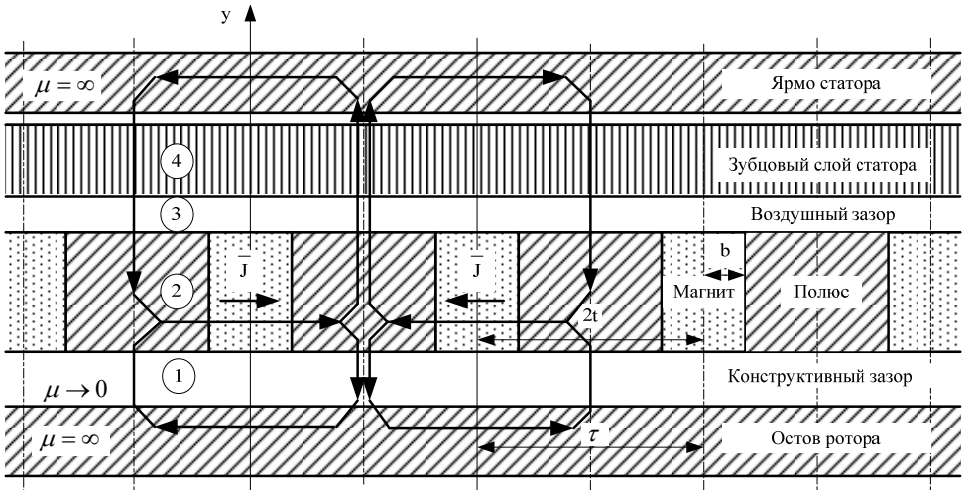


Рис. 1. Структура активного объема торцевой электрической машины

Для поиска оптимального варианта сочетания параметров машины использован метод многокритериальной оптимизации [4], который не требует сведения многокритериальной задачи к однокритериальной, что исключает ее неоправданное упрощение, а также позволяет учесть множество вариантов с минимальным количеством решений, удовлетворяющих заданным условиям.

Входным потоком для алгоритма оптимизации является коллекция работоспособных вариантов машин в виде совокупностей их параметров, как приведенных выше, так и полученных по результатам использования расчетной модели генератора (рис. 2).

Процесс формирования коллекции представляет собой набор последовательно вложенных друг в друга циклов, в которых перебираются все сочетания варьируемых параметров. Эти циклы могут быть реализованы в программном коде, поскольку любой варьируемый параметр всегда имеет заданные для него границы, за которые он выходить не может, а также ряд дискретных значений, которые он может принимать.

В качестве варьируемых параметров используются параметры, в наибольшей степени влияющие на эксплуатационные показатели машины: внутренний активный диаметр D_i, активная длина машины l_b, воздушный рабочий зазор δ, индукция в зазоре машины B_δ, плотность тока в проводниках обмотки статора j.

На первом этапе в случае если формируемая коллекция допустимых вариантов параметров машин не является пустым множеством, пользователь имеет возможность контролировать самые существенные показатели: номинальное напряжение $U_н$, перегрузочную способность P_{max}, суммарную массу генератора $\Sigma G_г$, массу магнитов $G_м$, наружный диаметр генератора $D_н$, индуктивное сопротивление пазового рассеяния $X_п$, после чего программа переходит к этапу поиска оптимального решения. При наличии в коллекции пустого множества решений границы варьируемых параметров формируемой коллекции расширяются.

На втором этапе коллекция допустимых решений усекается с учетом функциональных ограничений.

Авторами была проведена оптимизация для торцевого синхронного генератора мощностью 1 кВт, определены граничные точки области изменения параметров рассматриваемой системы и выполнен поиск оптимальной геометрии. Критериальные ограничения приняты по аналогии с испытанными ранее опытными образцами торцевого синхронного генератора.

В результате синтеза переменных параметров генератора получена коллекция допустимых решений (рис. 2). На основании ее анализа были сделаны следующие выводы:

– увеличение зазора δ ведет к повышению суммарной массы генератора и падению максимальной мощности, при этом остальные параметры изменяются незначительно;

– увеличение индукции в рабочем зазоре $B\delta$ повышает выходное напряжение и максимальную мощность, на остальные оптимизируемые параметры оно не оказывает значительного влияния;

– увеличение внутреннего активного диаметра D_i ведет к повышению выходного напряжения, суммарной массы генератора массы магнитов и наружного диаметра, при этом максимальная мощность и индуктивное сопротивление уменьшаются;

– увеличение активной длины l_δ приводит к снижению индуктивного сопротивления и максимальной мощности, при этом значения остальных параметров увеличиваются;

– с повышением плотности тока j индуктивное сопротивление и масса магнитов остаются постоянными, напряжение и выходная мощность снижаются, а суммарная масса генератора и его наружный диаметр, напротив, увеличиваются.

Алгоритмы, разработанные на основе методик электромагнитного расчета и многокритериальной оптимизации, реализованы в виде программного комплекса, который позволяет автоматизировать создание твердотельных параметризованных моделей в CAD-среде, тем самым сокращая сроки разработки изделия от технического задания до комплекта рабочей документации.

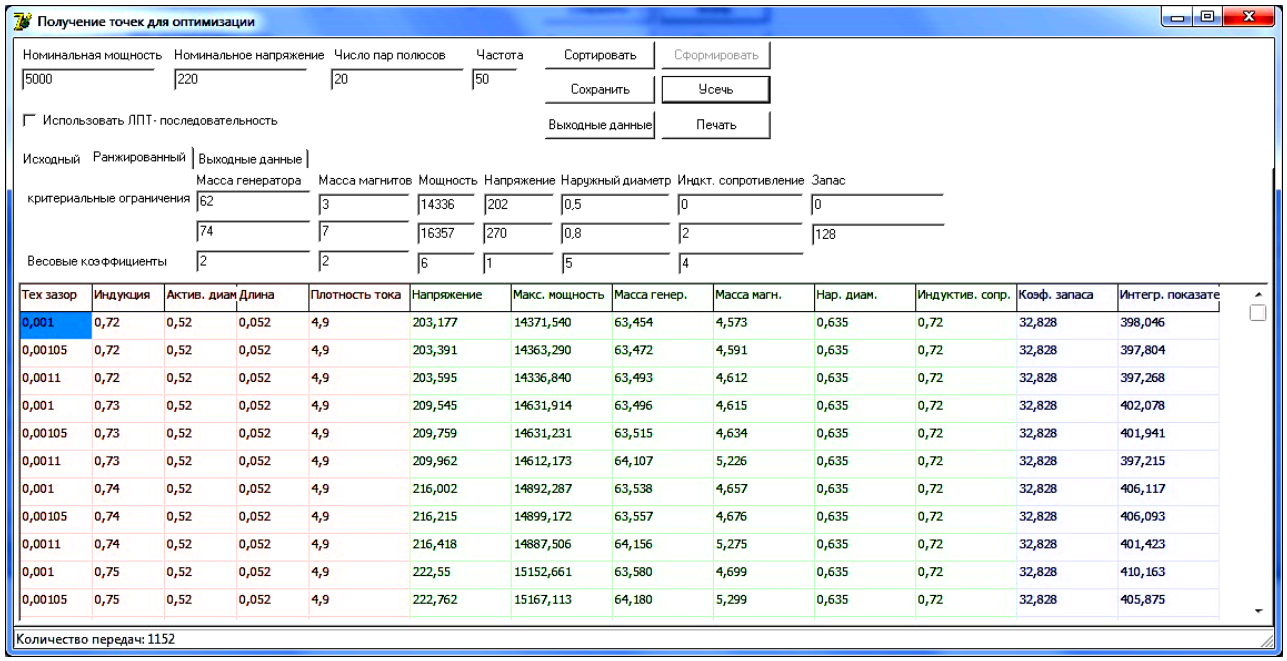


Рис. 2. Коллекция допустимых решений

Программный комплекс позволяет вывести на печать полный список всех геометрических, силовых и электромагнитных параметров выбранного варианта генератора (см. рис. 2). Для повышения эргономичности пользовательского интерфейса в таблице результатов разными цветами выделяются варьируемые параметры, критерии качества и интегрированный показатель качества генератора (целевая функция оптимизации), а также осуществляется индикация вспомогательной информации, используемой при оптимизации, например информации о максимальных и минимальных значений каждого из критериев качества, количестве решений в коллекции и пр.

Программный комплекс имеет модульную структуру и отвечает требованиям структурного программирования. В частности, весь основной функционал оформлен в виде подпрограмм, которые можно использовать в дальнейшем при решении задач оптимизации. Основным входным потоком является двухмерный динамический массив вещественных чисел, хранящий рассчитанные варианты генератора: варьируемые параметры и критерии качества. Такой вид хранения информации обладает некоторой абстрактностью, благодаря чему алгоритм оптимизации может быть легко подключен в виде внешнего модуля к любой другой программе. Единственным требованием к такой программе будет возможность предоставления ею коллекции численных решений в любой сфере знаний для поиска лучшего из них.

Графики зависимостей выходных параметров и характеристик генератора указывают на нелинейность изменения взаимозависимых параметров (рис. 3) .

Так, например, при изменении активной длины в характерной точке перехода параметров с $l_\delta = 0,034$ м на $l_\delta = 0,035$ м у генератора с $P = 3$ кВт, $2p = 32$ происходит резкое падение индуктивного сопротивления пазового рассеяния $X_\text{п}$, вызванное уменьшением числа витков статорной обмотки и, соответственно, высоты зубца. Из-за необходимости округления числа проводников в пазе машины до четной величины, что обусловлено условием построения обмоточного модуля, это изменение, связанное с увеличением индукции, происходит скачкообразно.

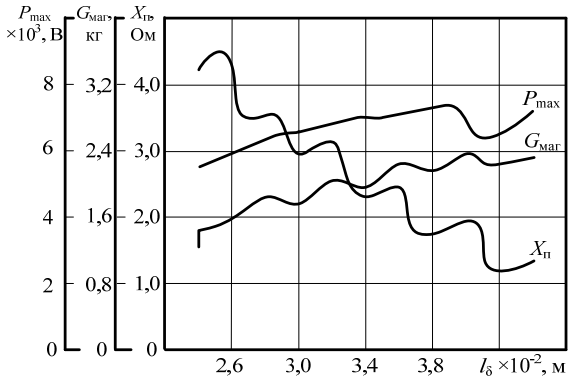


Рис. 3. Графики зависимостей выходных характеристик генератора от активной длины машины

Непропорциональность изменения числа витков и повышения индукции приводит к возрастанию массы магнитов $G_\text{м}$ за счет увеличения высоты магнитов $h_\text{м}$ и, соответственно, полюсов.

В свою очередь уменьшение числа витков способствует снижению ЭДС E_0 и выходного напряжения U_1 машины. Максимальное значение выходной мощности синхронного генератора уменьшается незначительно, так как со снижением выходного напряжения изменяется и индуктивное сопротивление пазового рассеяния $X_\text{п}$.

Выходные параметры низкоскоростного торцевого синхронного генератора

Параметры	Многокритериальная оптимизация	Однофакторный анализ	Процент отклонения
Технологический зазор, м	0,001	0,001	0
Индукция в воздушном зазоре, Тл	0,69	0,7	–1,4
Активный диаметр, м	0,674	0,72	–6,4
Активная длина, м	0,02	0,021	–4,8
Напряжение, В	237,632	219,121	8,4
Максимальная мощность, Вт	6 381	5 964	7,0
Масса генератора, кг	40,069	43,262	–7,4
Масса магнитов, кг	1,318	1,426	–7,6
Индуктивное сопротивление, Ом	4,887	5,535	–11,7

Отсюда можно сделать выводы о нелинейности изменения большого количества взаимозависимых параметров генератора и о необходимости нахождения компромисса при поиске оптимальной геометрии машины.

На третьем этапе на коллекцию решений, полученную в результате усечения, накладываются критериальные ограничения с целью нахождения оптимального варианта, удовлетворяющего всем ограничениям в соответствии с приоритетами конструктора.

На четвертом этапе проводится проверка множества решений на непустоту.

Таким образом, метод многокритериальной оптимизации позволяет значительно улучшить выходные параметры низкоскоростного торцевого синхронного генератора при одновременном снижении себестоимости по сравнению с использованной ранее методикой однофакторного анализа (см. таблицу).

Библиографические ссылки

1. Итоги развития Красноярского края за 2004 г. : стат. отчет / Комитет статистики Красноярского края. Красноярск, 2005.

2. Автоматизация проектирования свободнопоточной микроГЭС / М. П. Головин [и др.] // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. Машиностроение. Вып. 40. Красноярск, 2005. С. 89–101.

3. Пат. 2247859 Рос. Федерация, МПК[7] F 03 B 13/00. Погружная свободнопоточная микрогидроэлектростанция / М. П. Головин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Краснояр. гос. техн. ун-т. № 2003127811/06 ; заявл. 15.09.03 ; опубл. 10.03.05, Бюл. № 7.

4. Соболь И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М. : Наука, 1981.

D. I. Morozov, E. V. Karpenko, N. A. Kolbasina

OPTIMISING SYNTHESIS OF A LOW-SPEED BUTT ALTERNATOR CHARACTERISTICS

In the work the authors describe the features of construction of a design model of active volume of a butt alternator, with direct-axis magnetization of rotor poles, by constant magnets, and integrated program complex, realizing the given model, along with the module of polyoptimization of geometrical parameters for automated creation of solid-state parameterized models.

Keywords: low-speed butt alternator, polyoptimization.

© Морозов Д. И., Карпенко Е. В., Колбасина Н. А., 2012

УДК 621.391

С. Н. Назаров, Г. В. Ковалев

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОМОБИЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ В СЕТИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА И МОБИЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ

Предложены обобщенная схема функционирования высокомобильных абонентов в сети широкополосного доступа и метод оценки ее эффективности.

Ключевые слова: высокомобильные абоненты, сеть широкополосного доступа, макродиверсифицированный хэндовер, зональные диспетчеры.

Постановка задачи. В современных стандартах [1–3] поддерживаются три Handoff-режима: интенсивный Handoff (Hard Handoff, HHO), режим быстрого переключения между базовыми станциями (БС) (Fast Base Station Switching, FBSS) и макродиверсифицированный хэндовер (Macro Diversity Handover, MDHO), из которых HHO является базовым, а FBSS и MDHO – дополнительными режимами. Все БС, поддерживающие режимы MDHO и FBSS, должны синхронизироваться на основе единого опорного источника и работать в одном частотном диапазоне.

В режиме MDHO мобильная станция (МС) может одновременно работать с несколькими БС (диверсифицироваться), каждая из которых должна передавать мобильной станции (МС) одинаковые пакеты. Для этого формируется список БС, способных поддерживать такой обмен с заданной МС, – активный набор (Active Set). У каждой БС из одного списка есть вся информация о МС, которую БС получает при начальной регистрации МС (включая аутентификацию). Среди БС из активного набора одна станция назначается анкерной. Для обмена с несколькими БС мобильная станция должна постоянно принимать управляющую информацию (как минимум, карты нисходящего/восходящего каналов и управляющие заголовки). В режиме MDHO этого можно достичь двумя способами. Первый способ заключается в том, что МС следит только за управляющей информацией анкерной БС. В этом случае сообщения DL- и UL-MAP анкерной БС должны содержать данные о расположении пакетов, адресованных данной МС от всех БС из листа диверсификации. Второй способ подразумевает, что МС контролирует управляющую информацию всех активных БС из активного набора. Но тогда в картах DL/UL-MAP каждой из них должна быть информация о расположении пакетов других БС. Базовые станции, поддерживающие режим MDHO и входящие в один активный набор, должны работать с общим набором идентификаторов соединений CID. В этом режиме несколько БС из активного набора синхронно передают одинаковые пакеты на абонентскую станцию (АС), которая из принятых пакетов выбирает лучший. При передаче в восходящем канале пакет от АС принимают несколько БС из активного набора и из них выбирается лучший.

Особое внимание в дополнениях к стандарту IEEE 802.16e–2005 и IEEE 802.16–2004/Cor1–2005 [3] уделено системам MIMO – как в режимах пространственно-временного кодирования (STC), так и для адаптивных антенных систем (AAS). В частности, добавлен абсолютно новый раздел, в котором режим макродиверсифицированного хэндовера рассматривается как работа АС в окружении нескольких БС, одновременно передающих данной АС информацию. В качестве пространственно разнесенных антенн выступают антенны различных БС [1–3].

Таким образом, для решения задачи использования в сетях широкополосного доступа МС с высокой скоростью перемещения необходимо осуществить доработку стандарта IEEE 802.16e–2005, в котором в качестве основного способа функционирования указывается режим MDHO при взаимодействии МС со всеми БС из активного набора, при этом доступ МС к множеству БС будет осуществляться на основе пространственно разнесенного приема сигнала.

Обобщенная схема функционирования высокомобильного абонента в сети широкополосного доступа. В качестве МС рассмотрим воздушное судно (ВС), осуществляющее передвижение по трассе на высоте h со скоростью V_m (рис. 1).

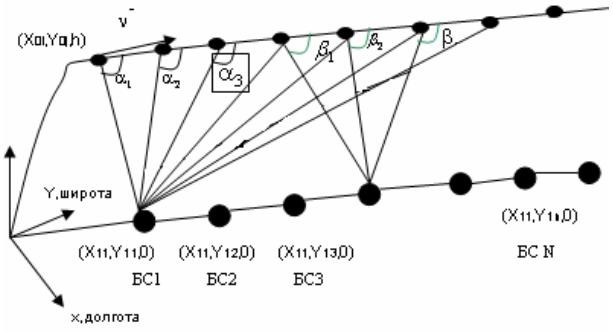


Рис. 1. Схема доступа ВС к БС при движении по трассе: БС1…БСN – базовые станции; α – угол между вектором скорости движения ВС и направлением на БС; (X_{1i}, Y_{1j}, 0) – координаты БС; (X_{0i}, Y_{0j}, h) – координаты ВС

Для расчета частоты Доплера используем уравнение

$$f_{\text{Д}} = \frac{f_0}{c} \cdot V_m \cdot \cos\alpha, \qquad (1)$$

где f_0 – рабочая частота связи; c – скорость распространения света; V_m – скорость движения ВС; $\cos\alpha = \frac{d}{l}$, здесь $d = \sqrt{(X_{11} - X_{01})^2 + (Y_{11} - Y_{01})^2 + h^2}$, $l = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}$

Анализ графиков значений частоты Доплера для каналов связи, образуемых между ВС и *i*-й БС (рис. 2), показывает, что частота Доплера в канале связи, образуемом между движущимся ВС и *i*-й БС, имеет значение, превышающее 2 кГц. Однако в момент времени, когда угол между вектором скорости движения и направлением на БС приближается к 90°, $f_Д$ будет стремиться к нулю.

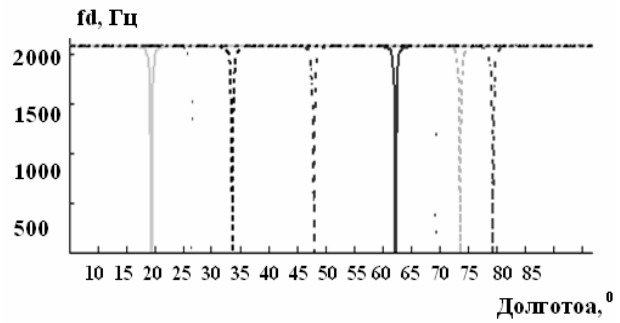


Рис. 2. Значение частоты Доплера для каналов связи ВС с БС, расположенными вдоль трассы полета

Таким образом, если вдоль авиатрассы установить множество БС, одновременно работающих с ВС в режиме макродиверсифицированного хэндовера, то в любой момент времени движения ВС будет существовать хотя бы одна БС, при осуществлении доступа ВС к которой $f_д$ будет стремиться к нулю, что обеспечит повышение скорости передачи информации от авиапассажиров в сети широкополосного доступа и снизит частоту переключения мобильного абонента между базовыми станциями.

Следовательно, принцип построения сети широкополосного доступа, обеспечивающий обслуживание потоков информации высокомобильного абонента с заданным качеством, может быть представлен в виде схемы, показанной на рис. 3.

Общая инфокоммуникационная сеть транспортной системы – это совокупность коммутационного оборудования, которое обеспечивает передачу информационных потоков между глобальной сетью и местными информационными центрами – зональными диспетчерами (Zone Controllers, ZC), которые отвечают за прием и передачу трафика, регистрацию в сети подвижной платформы и ее мобильных абонентов в зоне своей ответственности. ZC направляют информационный поток из глобальной сети одновременно на все связанные с ним ретрансляторы R_n, которые передают нагрузку на множество антенн ($Ан_1 \ldots Ан_N$), установленных на подвижной платформе. Все антенны подключены к станции подвижной платформы (Vehicle Station, VS), которая передает нагрузку точкам доступа (Access Points, AP) локальной беспроводной сети абонентов. Таким образом, данная система позволяет предоставлять информационные услуги абонентам без перерывов связи [4].

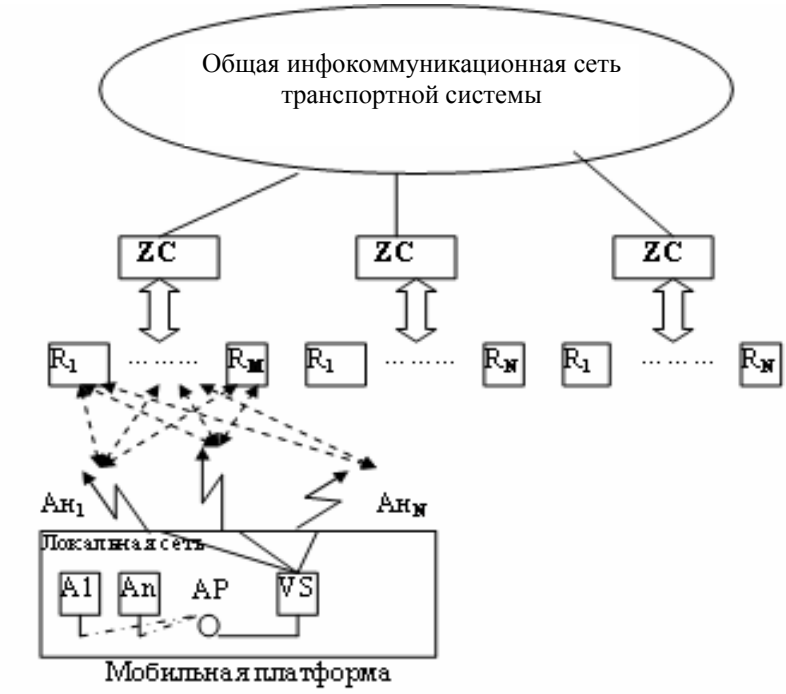


Рис. 3. Принцип функционирования высокомобильного абонента в сети широкополосного доступа (обозначения см. в тексте)

Метод оценки эффективности функционирования высокомобильных абонентов в сети широкополосного доступа. Согласно модели передачи информации от зонального диспетчера к станции транспортного средства (рис. 4), M ретрансляторов размещены вдоль маршрута движения транспортного средства и удалены друг от друга на расстояние d_r, превышающее расстояние пространственной корреляции. N антенн транспортного средства размещены на расстоянии d_a друг от друга. Самое короткое расстояние между ретранслятором и антенной подвижного объекта – d_v. Все $M \times N$ возможных подканалов подвержены быстрым и медленным замираниям, коэффициенты подканалов остаются постоянными на длительности одного фрейма. Предполагается, что в подканалах присутствует аддитивный, белый, гауссовский шум со спектральной плотностью N_0.

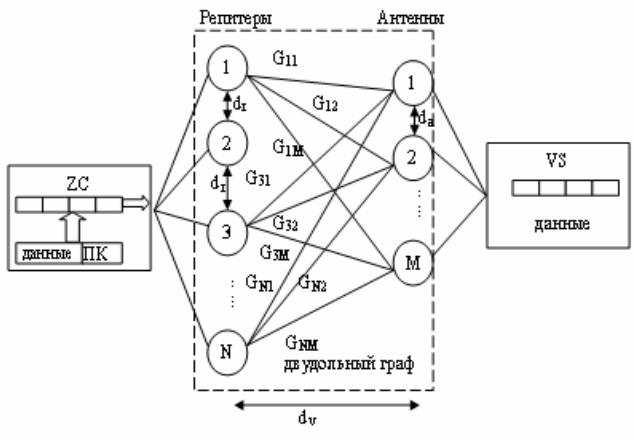


Рис. 4. Модель передачи информации от зонального диспетчера к станции транспортного средства (обозначения см. в тексте)

Коэффициент передачи ij-го канала

$$G_{ij} = \alpha_{ij}^2 L_0 \left(\frac{d_{ij}}{d_0}\right)^{-k}, \qquad (2)$$

где α_{ij} – значение огибающей, имеющей распределение Райса:

$$w(\alpha_{ij}) = \frac{\alpha_{ij}}{\sigma_{ij}} e^{\left(\frac{\alpha_{ij}^2 + m_{ij}^2}{\sigma^2_{ij}}\right)} I_0\left(\frac{\alpha_{ij} m_{ij}}{\sigma_{ij}^2}\right),$$

здесь $I_0(o)$ – функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента [5; 6]; d_{ij} – расстояние между ретранслятором i и антенной j; k – образец потери тракта; L_0 – уровень затухания сигнала на удалении d_0 для заданного типа передающей антенны.

Рассматриваемая совокупность взаимосвязанных ретрансляторов и антенн может быть представлена в виде полного взвешенного двудольного графа (см. рис. 4), в котором антенны и ретрансляторы показаны в виде двух отдельных наборов вершин, а радиолиния между каждой возможной парой «антенна–ретранслятор» – в виде ребра графа [7]. Ребро инцидентно с вершинами различных наборов. Характеристика линии G_{ij} определяется как вес ребра (i, j).

Выбор передачи с многократными радиолиниями среди всех пар «антенна–ретранслятор», с ограничением непосредственной связи в каждом ретрансляторе и антенне, определяется соответствием двудольного графа: множество ребер $X = \{(i,j)\}_{1 \le i \le M, 1 \le j \le N}$, все $(i, j) \in X$, может быть инцидентно на ретрансляторе i или антенне j только однажды. В матрице $X = \{(x_{ij})\}_{1 \le i \le M, 1 \le j \le N}$ $x_{ij} = 1$, если связь между ретранслятором i и антенной j определена на множестве X, и $x_{ij} = 0$, если связь не выбрана. При этом сумма каждого ряда или колонки матрицы X должна быть равна 0 или 1 [4; 7].

Каждый i-й ретранслятор характеризуется мощностью передаваемого сигнала P_i и скоростью передачи r_i. Если $P_i = 0$, $r_i = 0$, то ретранслятор неактивен. Для множества ретрансляторов определяются вектор мощности $P = [P_i]_{1 \le i \le M}$ и вектор скорости передачи информации $r = [r_i]_{1 \le i \le M}$. Все образуемые беспроводные связи осуществляются на основе технологии DS/SSMA [8].

В [4] отношение мощности сигнала к мощности помехи на приеме линии (i, j) имеет вид

$$\gamma_{ij} = \left(\frac{W}{r_i}\right) \frac{G_{ij} P_i}{N_0 + \sum\limits_{(k,l) \in X,\, k \ne i} G_{kj} P_k}, \qquad (3)$$

где W – полоса пропускания системы; r_i – пропускная способность линии (i, j) из множества X; P_i – мощность сигнала ретранслятора i; N_0 – мощность шума в канале.

Для обеспечения требуемого качества связи необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\gamma_{ij} \ge \gamma_{\text{доп}}. \qquad (4)$$

Тогда пропускная способность системы [4] определяется выражением

$$R_{\text{syst}} = \frac{\gamma_{\text{доп}}}{W} \sum_{\substack{(i,j) \in X, \\ \gamma_{ij} \ge \gamma_{\text{доп}}}} r_i. \qquad (5)$$

Из рассмотренного следует, что эффективность функционирования системы MHS определяется пропускной способностью R. Следовательно, для любых $(i, j) \in X, P_i \in P$ необходимо определить r_i таким образом, чтобы $\gamma_{ij} \ge \gamma_{\text{доп}}$.

Согласно выражениям (3) и (5):

$$R_{\text{syst}} = \frac{\gamma_{\text{доп}}}{W} \sum_{(i,j) \in X} r_i = \sum_{(i,j) \in X} \frac{G_{ij} P_i}{N_0 + \sum\limits_{\substack{(k,l) \in X, \\ k \ne i}} G_{kj} P_k}. \qquad (6)$$

Выражение (6) является целевой функцией, а задача максимизации пропускной способности MHS может быть представляется в виде

$$R_{\text{syst}} \to \max \qquad (7)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{M} x_{ij} = 0 \text{ или } 1;\ \sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 0 \text{ или } 1;$$

$$x_{ij} \in \{0,1\},\ 1 \le i \le M,\ 1 \le j \le N;$$

$$\frac{G_{ij}P_i}{N_0 + \sum\limits_{\substack{(k,l)\in X,\\ k\ne i}} G_{kj}P_k} \le \gamma_{\text{доп}};\ 0 \le P_i \le P_{\max}.$$

Ограничения для x_{ij} в выражении (7) определены из матрицы соответствия, рассмотренной ранее.

Решение задачи (7) состоит из двух подзадач: формирования множества X и распределения мощности передачи сигнала по (i, j) из X. Первая подзадача носит комбинаторный характер, вторая является вычислительной задачей. Одновременное решение этих позадач вызывает большие затруднения. Поэтому предлагается сначала получить соответствие $X = \{(i, j)\}_{1\le i\le M,\,1\le j\le N}$, а затем осуществить распределение мощности по числовому множеству $\{(i, j)\}_{1\le i\le M,\,1\le j\le N} \in X$.

Задача получения множества соответствия $X = \{(i, j)\}$ может быть представлена в виде целевой функции

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} c_{ij}x_{ij} \to \max \qquad (8)$$

и ограничений

$$\sum_{i=1}^{M} x_{ij} = 1;\ \sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1;\ x_{ij} \in \{0,1\}, \qquad (9)$$

где c_{ij} соответствует пропускным способностям (ij) x линий; $x_{ij} \in X$.

Согласно ограничениям (9), решение задачи (8) может быть найдено с помощью целочисленного программирования, характеризующегося большими размерностью и временем выполнения. Однако если ввести ограничение $x_{ij} \ge 0$, то полный набор ограничений формирует ограниченную область со множеством вершин – экстремумов, которые будут соответствовать множеству X. Следовательно, задача (8) становится задачей линейного программирования с N^2 переменными, которая решается быстрее [9].

В работе [4] для учета влияния подканалов предлагается использовать их коэффициенты передачи. Тогда целевая функция может быть представлена в виде

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\left[\frac{G_{ij}x_{ij}}{\dfrac{N_0}{P'} + \sum\limits_{k=1,k\ne i}^{M}\sum\limits_{i=1}^{N} G_{kj}x_{kl}}\right] \qquad (10)$$

с ограничениями

$$\sum_{i=1}^{M} x_{ij} = 1 \text{ или } 0,\ 1 \le j \le N;$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1 \text{ или } 0,\ 1 \le i \le M; \qquad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\},\ 1 \le j \le N,\ 1 \le i \le M.$$

Для учета реального воздействия на линию (i, j) других линий в работе [4] используется эффективный коэффициент линии

$$G'_{ij} = \frac{G_{ij}}{\dfrac{N_0}{P_{\max}} + \sum\limits_{k\in S,\,k\ne i} G_{kj}},$$

где $S \subseteq \{1, 2, 3, ..., M\}$ – множество активных ретрансляторов, мощность излучения которых равна $P_{\max}$. Тогда

$$\sum_{i\in S}\sum_{j=1}^{N} G'_{ij}x_{ij} \to \max$$

при ограничениях

$$\sum_{i\in S} x_{ij} = 1 \text{ или } 0,\ 1 \le j \le N;$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1 \text{ или } 0,\quad i \in S; \qquad (12)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\},\ 1 \le j \le N,\ i \in S.$$

Таким образом, (12) позволяет на данном множестве S получить множество соответствия X. Определенные в X подканалы будут характеризоваться лучшими соотношениями уровней сигналов и помех, что сможет обеспечить максимальную пропускную способность системы в целом.

Решение задачи распределения мощности между ретрансляторами осуществляется на основе полученного ранее множества соответствия X. Оптимизационная функция и система ограничений могут быть представлены в виде [4]:

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\left[\frac{G_{ii}P_i}{N_0 + \sum\limits_{j=1,j\ne i}^{|X|} G_{ji}P_j}\right], \qquad (13)$$

$$\frac{G_{ii}P_i}{N_0 + \sum\limits_{j=1,j\ne i}^{|X|} G_{ji}P_j} \le \gamma_{\text{доп}};\ 0 \le P_i \le P_{\max}. \qquad (14)$$

Решение задачи осуществляется с помощью симплекс-метода [9]. Для этого вводятся дополнительные переменные [4; 9] и оптимизационная задача записывается следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\left[\frac{G_{ii}P_i}{N_0 + \sum\limits_{j=1,j\ne i}^{|X|} G_{ji}P_j}\right] \to \max \qquad (15)$$

при ограничениях

$$\frac{G_{ii}}{\gamma_{\text{доп}}}P_i + \sum_{j=1,\,j\ne i}^{|X|} G_{ji}P_j + s_i = N_0;\ P_i + t_i = P_{\max};$$

$$P_i, s_i, t_i \ge 0,\ 1 \le i \le |X|.$$

Результаты моделирования доступа высокомобильных абонентов к базовой сети представлены на графиках (рис. 5 и 6) (исходные данные взяты из работы [4]).

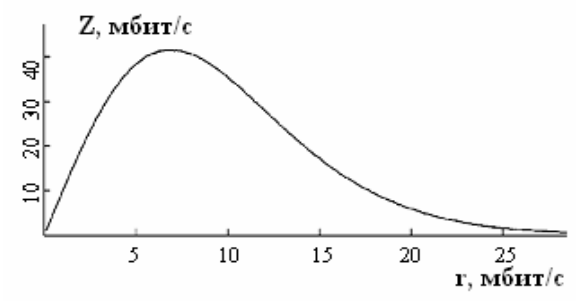


Рис. 5. Пропускная способность системы в зависимости от скорости передачи данных в линии связи

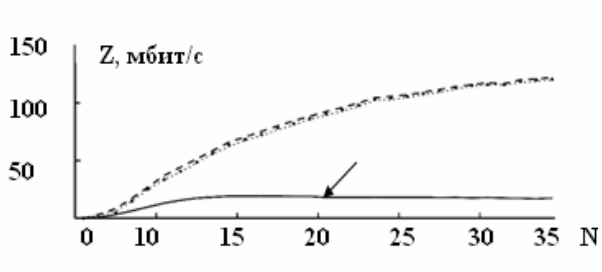


Рис. 6. Зависимость пропускной способности системы от числа антенн, установленных на подвижной платформе при заданном числе ретрансляторов

Анализ графика значений пропускной способности системы в зависимости от скорости передачи данных в линии связи (см. рис. 5) показывает, что мобильная система, движущаяся с высокой скоростью, не может управлять элементами базовой сети. Ретрансляторы же осуществляют передачу с максимально допустимой мощностью $P_{\max}$ для снижения влияния внешних воздействий. Поэтому в ZC должна определяться оптимальная скорость передачи данных в образуемых линиях для обеспечения максимальной пропускной способности системы. Из графика на рис. 5 следует, что максимум пропускной способности системы может быть получен при скорости передачи данных 7 Мбит/с.

Оптимальная пропускная способность системы зависит от взаимного расположения репитеров (повторителей) и антенн подвижной системы. Пропускная способность максимальна, когда удаление повторителей и антенн равно d_v, и минимальна, когда повторители и антенны лежат на половине пути друг между другом. Следовательно, оптимальная пропускная способность системы будет изменяться во времени, что потребует значительных затрат ресурсов управления.

Снижение амплитуды колебаний пропускной способности возможно за счет увеличения расстояний между повторителями, однако это достигается за счет снижения общей пропускной способности. Повышение пропускной способности системы возможно путем увеличения числа используемых на подвижной платформе антенн до определенного значения (см. рис. 6). Это объясняется уменьшением расстояния между антеннами и усилением взаимного влияния соседних линий.

Таким образом, проблема обслуживания высокомобильных абонентов может быть решена с помощью технологии Mobile Hotspot, основанной на применении крупногабаритных и мощных антенных систем. Снижение частоты переключения между базовыми станциями происходит из-за того, что множество ретрансляторов, подключенных к ZC, одновременно проводят передачу одинаковых сообщений. Исключение замираний в канале, возникающих вследствие взаимного влияния подканалов и доплеровского изменения частоты, осуществляется за счет эффективного распределения ZC мощности передачи ретрансляторами и их взаимной удаленности, определения оптимальной скорости передачи информации в образуемых линиях и количества антенн, используемых на подвижной платформе.

Библиографические ссылки

1. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. М. : Техносфера, 2009.

2. WiMAX – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение / В. С. Сюваткин [и др.] ; под ред. В. В. Крылова. СПб. : БХВ-Петербург, 2005.

3. IEEE 802.16e–2005 and IEEE 802.16–2004/Cor1–2005. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Part 16 : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. Amend. 2 [Electronic resourse]. URL: http://standards.ieee.ord/findstds/standard/802.16e–2005.html (дата обращения: 18.01.2012).

4. Daniel H., Shahrokh V. Information Raining and Optimal Link-Layer Design for Mobile Hotspots // IEEE Trans. on Mobile Computing. 2005. Vol. 4, № 3. P. 271–283.

5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер. с англ. 2-е изд., испр. М. : Вильямс, 2003.

6. Прокис Д. Цифровая связь : пер. с англ. / под ред. Д. Д. Кловского. М. : Радио и связь. 2000.

7. Ловас Л., Пламмер М. Прикладные задачи теории графов. Теория паросочетаний в математике, физике, химии / пер. с англ. Г. П. Гаврилова, В. В. Мартынюка, М. А. Никитиной ; под ред. Г. П. Гаврилова. М. : Мир, 1998.

8. Sang Wu, Stark K., Stark W. Performance Limits of Reed–Solomon Coded CDMA with Orthogonal Signaling in a Raleigh-Fading Channel // IEEE Trans. on Communications. 1998. Vol. 46, № 9. P. 1125–1134.

9. Таха Х. Введение в исследование операций : пер. с англ. М. : Мир, 1985.

S. N. Nazarov, G. V. Kovalyov

METHODS OF EFFECTIVIZATION OF HIGHLY MOBILE SUBSCRIBERS OPERABILITY IN A BROADBAND ACCESS NETWORK ON THE BASIS OF REALISATION OF TECHNOLOGY OF A DIVERSITY RECEPTION AND MOBILE PLATFORMS

In the article the authors offer a generalized scheme of highly mobile subscribers operability in a broadband access network and a method of estimation of its efficiency

Keywords: highly mobile subscribers, broadband access network, macro diversify handover, zone dispatchers.

© Назаров С. Н., Ковалев Г. В., 2012

УДК 621.31:629.78

С. С. Пост, Ю. В. Краснобаев, А. В. Чубарь

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрена энергетическая модель импульсного стабилизатора напряжения (ИСН), логика функционирования которой соответствует логике функционирования реального ИСН. Методика моделирования и исследования энергетических процессов в системах электропитания разработана с помощью системы автоматизированного проектирования OrCAD 9.2.

Ключевые слова: система электропитания, импульсный стабилизатор напряжения, энергетическая модель.

Импульсные стабилизаторы напряжения (ИСН) широко применяются в автономных системах электропитания (СЭП). Они обеспечивают достижение таких противоречивых требований, как высокие удельные характеристики и высокое качество электроэнергии на выходе СЭП.

Энергетические характеристики ИСН: КПД и минимальное возможное напряжение между входом и выходом ИСН – в значительной мере определяют выполнение энергобаланса в СЭП и срок их функционирования.

Постановка задачи. Энергетические процессы в автономных СЭП в настоящее время целесообразно анализировать с помощью методов компьютерного имитационного моделирования. Это позволяет оценить:

– обеспечение энергобаланса в СЭП при известных энергетических характеристиках основных и буферных источников энергии и временной диаграмме энергопотребления со стороны нагрузки;

– обеспечение энергобаланса в СЭП в условиях деградационных изменений энергетических характеристик основных и буферных источников.

Для проведения такого анализа необходимо разработать энергетическую модель импульсного стабилизатора напряжения, логика функционирования которого соответствует логике функционирования реального ИСН [1], входящего в состав СЭП. Эта модель должна:

– обеспечивать стабилизацию выходного напряжения в номинальных режимах работы;

– обеспечивать ограничения выходного тока на заданном уровне при перегрузке с соответствующим понижением выходного напряжения;

– прерывать процесс стабилизации выходного напряжения при снижении входного напряжения ниже уровня напряжения стабилизации;

– изменять КПД в функции отношения выходного напряжения к входному и в функции изменения мощности нагрузки.

В модели должна быть предусмотрена возможность изменения уровня напряжения стабилизации, точности его поддержания, уровня тока ограничения и отклонения выходного тока от заданного в режиме тока ограничения.

Поставленную задачу можно решить, используя расчет мгновенных значений токов и напряжений [2]. В этом случае исследуется модель ИСН, состоящая из аналоговых элементов: конденсаторов, дросселей, диодов, транзисторов, работающих в ключевом режиме, и т. п. Однако такое исследование может растянуться на несколько десятков часов, что делает его непригодным для анализа энергетических процессов, занимающих значительные временные интервалы. Поэтому целесообразна разработка энергетических моделей ИСН, состоящих преимущественно из функциональных блоков и не учитывающих импульсный характер преобразования энергии в ИСН, что позволяет существенно снизить затраты времени .

Модель импульсного стабилизатора напряжения. Рассмотрим работу энергетической модели импульсного стабилизатора напряжения (рис. 1).

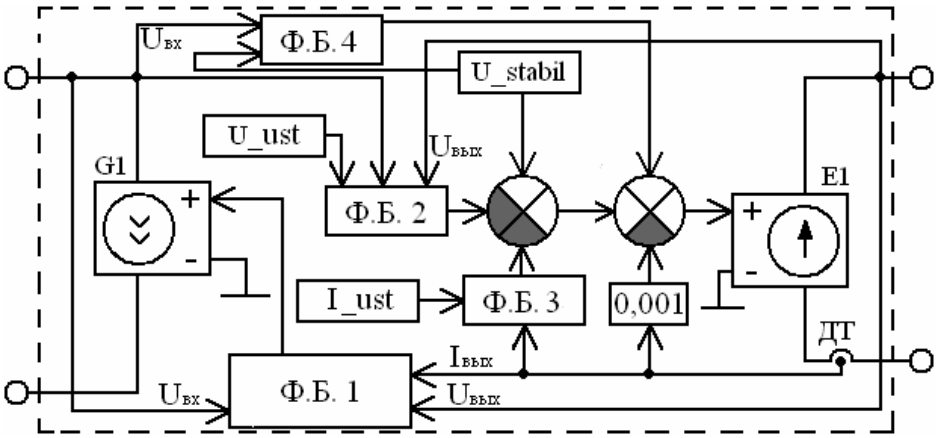


Рис. 1. Структурная схема энергетической модели импульсного стабилизатора напряжения

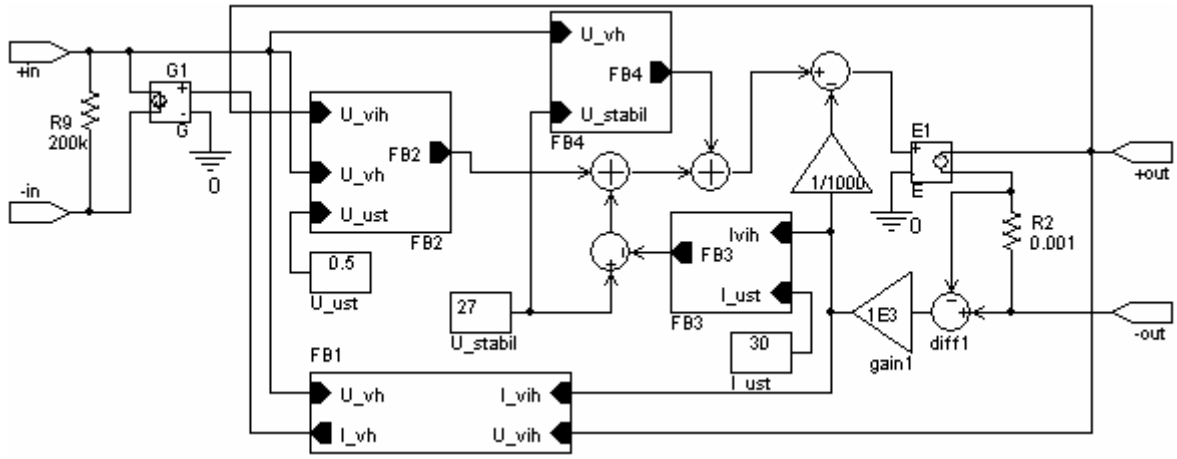


Рис. 2. Модель ИСН, созданная в пакете OrCAD 9.2 с использованием функциональных блоков

Функциональный блок ФБ1 используется для расчета коэффициента полезного действия и выходного тока модели ИСН. Значение КПД задается в виде функции $\eta = f(U_{вых}, U_{вх}, P_{нагр})$. Величина $P_{вх}$ определяется по формуле $P_{вх} = P_{вых}/\eta$, после чего рассчитывается входной ток $I_{вх} = P_{вх}/U_{вх}$. Таким образом, мощность, потребляемая нагрузкой $P_{вых}$, равна мощности на входе ИСН (с учетом КПД).

Функциональный блок ФБ2 выполняет две функции:

– обеспечивает стабилизацию выходного напряжения в номинальных режимах работы;

– прерывает режим стабилизации при снижении входного напряжения ниже уровня напряжения стабилизации.

Если величина входного напряжения превышает значение U_stabil на величину больше значения, задаваемого блоком U_ust, то на выходе блока ФБ2 устанавливается значение 0, а на выходе модели ИСН – уровень, определяемый блоком U_stabil. В противном случае уровень сигнала на выходе блока ФБ2 возрастает, а выходное напряжение рассчитывается по формуле $U_{вых} = U_{вх} - U$_ust.

Функциональный блок ФБ3 предназначен для защиты по току. Если величина выходного тока не превышает величину, задаваемую блоком, то на выходе блока ФБ3 устанавливается 0. В противном случае уровень напряжения на выходе ФБ3 линейно увеличивается, а уровень напряжения на выходе ИСН линейно уменьшается.

Источник напряжения, управляемый напряжением E1 с коэффициентом передачи 1, обеспечивает требуемое значение напряжения на выходе ИСН. Датчик тока ДТ предназначен для определения тока $I_н$ в выходной цепи (нагрузка подключается к выходным клеммам модели). Мощность, потребляемая нагрузкой, рассчитывается по формуле $P_{вых} = U_{вых} \cdot I_н$. Ток нагрузки и, соответственно, мощность $P_{вых}$ может меняться в зависимости от величины $R_н$.

Функциональный блок ФБ4 предназначен для расчета астатической ошибки модели ИСН. В номинальном режиме работы величина астатической ошибки вычисляется по формуле $\Delta = (U_{вх} - U$_stabil$) \cdot 0{,}001$. При снижении входного напряжения до уровня напряжения стабилизации величина астатической ошибки становится равной нулю.

Модель понижающего стабилизатора напряжения, выполненная в пакете OrCAD с использованием функциональных блоков (рис. 2), состоит из входной и выходной цепей, блока FB1, рассчитывающего КПД модели, входной ток и входную мощность, блока FB2, стабилизирующего выходное напряжение в номинальном режиме работы, блока FB3, обеспечивающего защиту по току, и блока FB4, определяющего величину астатической ошибки.

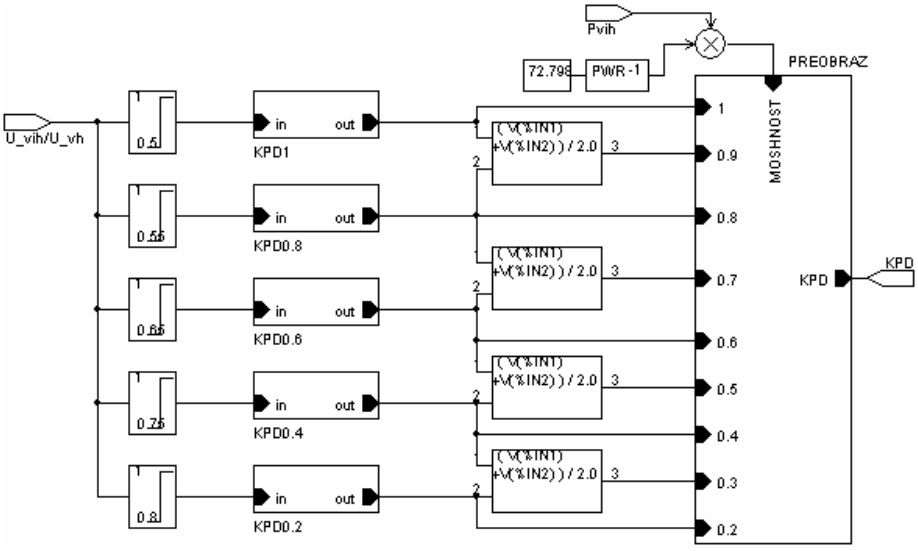


Рис. 3. Структурная схема функционального преобразователя КПД ИСН

Зависимость величины КПД от отношения $U_{вых}/U_{вх}$ и мощности нагрузки

Диапазон $P_{нагр}$	Соответствующее уравнение линии
$0{,}95 \cdot P_{ном} \le P_{нагр} \le P_{ном}$	$\eta(1) = -0{,}24 \cdot [(U_{вых} - U_{вх}) - 1]^2 + 0{,}96$
$0{,}85 \cdot P_{ном} \le P_{нагр} \le 0{,}95 \cdot P_{ном}$	$\eta(0{,}9) = [\eta(1) + \eta(0{,}8)]/2$
$0{,}75 \cdot P_{ном} \le P_{нагр} \le 0{,}85 \cdot P_{ном}$	$\eta(0{,}8) = -0{,}247 \cdot [(U_{вых} - U_{вх}) - 1]^2 + 0{,}92$
…	…
$0{,}25 \cdot P_{ном} \le P_{нагр} \le 0{,}35 \cdot P_{ном}$	$\eta(0{,}3) = [\eta(0{,}4) + \eta(0{,}2)]/2$
$0{,}15 \cdot P_{ном} \le P_{нагр} \le 0{,}25 \cdot P_{ном}$	$\eta(0{,}2) = -0{,}25 \cdot [(U_{вых} - U_{вх}) - 1]^2 + 0{,}79$

Функциональный преобразователь КПД, входящий в состав блока FB1, предназначен для расчета величины КПД модели ИСН (рис. 3). Значение КПД задается в виде функции $\eta = f(U_{вых}, U_{вх}, P_{нагр})$ (рис. 4).

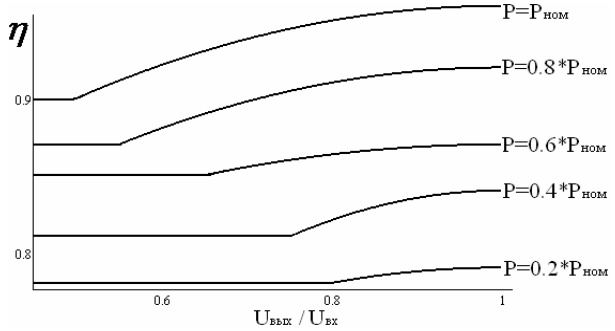


Рис. 4. Зависимость КПД от отношения $U_{вых}/U_{вх}$, для ряда мощностей нагрузки: $P_{ном}$ = 72,798 Вт

Линии, приведенные на рис. 4, описываются следующими уравнениями:

$$\eta(P_{нагр} = P_{ном}) = -0{,}24 \cdot [(U_{вых} - U_{вх}) - 1]^2 + 0{,}96,$$
$$\eta(P_{нагр} = 0{,}8 \cdot P_{ном}) = -0{,}247 \cdot [(U_{вых} - U_{вх}) - 1]^2 + 0{,}92,$$
$$\eta(P_{нагр} = 0{,}6 \cdot P_{ном}) =$$
$$= -0{,}163\ 26 \cdot [(U_{вых} - U_{вх}) - 1]^2 + 0.87 \qquad (1)$$
$$\eta(P_{нагр} = 0{,}4 \cdot P_{ном}) = -0{,}48 \cdot [(U_{вых} - U_{вх}) - 1]^2 + 0{,}84,$$
$$\eta(P_{нагр} = 0{,}2 \cdot P_{ном}) = -0{,}25 \cdot [(U_{вых} - U_{вх}) - 1]^2 + 0{,}79.$$

Введем промежуточные значения, которым соответствуют $P_{нагр} = 0{,}9 \cdot P_{ном}$, $P_{нагр} = 0{,}7 \cdot P_{ном}$, $P_{нагр} = 0{,}5 \cdot P_{ном}$ и $P_{нагр} = 0{,}3 \cdot P_{ном}$. Уравнение для каждой из этих линий рассчитывается как среднее арифметическое между уравнениями двух линий, между которыми располагается данная линия, т. е. линия, соответствующая $P_{нагр} = 0{,}9 \cdot P_{ном}$, определяется как $[\eta(P_{нагр} = P_{ном}) + \eta(P_{нагр} = 0{,}8 \cdot P_{ном})]/2$, и т. д.

Условия, на основании которых будут выводиться уравнения КПД в зависимости от мощности нагрузки, заданы в таблице. В ее первом столбце указаны диапазоны значений, в состав каждого из которых может входить величина, равная отношению $P_{нагр}/P_{ном}$. Во втором столбце приведены уравнения линий, соответствующие данным диапазонам.

Функциональный преобразователь КПД ИСН работает следующим образом. Блоки ABM и LIMIT задают уравнения (1). Иерархический блок PREOBRAZ предназначен для удовлетворения условий, представленных в таблице.

На вход блока PREOBRAZ поступают уравнения (1) и величина MOSHNOST, равная отношению мощности, потребляемой нагрузкой, к номинальной мощности на нагрузке (72,798 Вт). Ключевую роль в схеме играют блоки TABLE (рис. 5). Если на вход блока TABLE подается величина, находящаяся в диапазоне [0,85; 0,95), то на его выходе устанавливается 1, в противном случае – 0.

В блоке PREOBRAZ каждое уравнение, поступающее на его вход, умножается на величину, которая устанавливается на выходе соотнесенного с ним блока TABLE: в зависимости от величины $P_{нагр}/P_{ном}$ на выходе только одного блока TABLE установится единица, на выходе всех остальных блоков – нули.

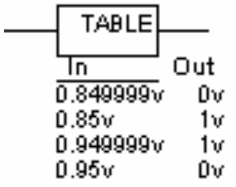


Рис. 5. Блок TABLE

После этого все результаты умножения суммируются и на выходе получается КПД, соответствующий одному отношению $P_{нагр}/P_{ном}$ – тому, которое определяется условием в таблице.

Тестирование модели функционального преобразователя КПД ИСН. Предположим, что $(P_{нагр}/P_{ном}) = 0{,}91$. Следовательно, рабочая точка должна двигаться по линии, соответствующей отношению $(P_{нагр}/P_{ном}) = 0{,}9$.

Проведем тестирование модели (рис. 6).

Линия, соответствующая отношению $(P_{нагр}/P_{ном}) = 0{,}9$, и линия, соответствующая выходу модели КПД, совпадают, отсюда можно сделать вывод, что модель составлена верно.

Тестирование модели ИСН. Тестирование модели ИСН проведено в трех режимах: режиме стабилизации выходного напряжения (рис. 7, *а*), режиме стабилизации выходного напряжения с демонстрацией режима снижения выходного напряжения при уменьшении входного напряжения (рис. 7, *б*) и режиме ограничения выходного тока (рис. 8, 9).

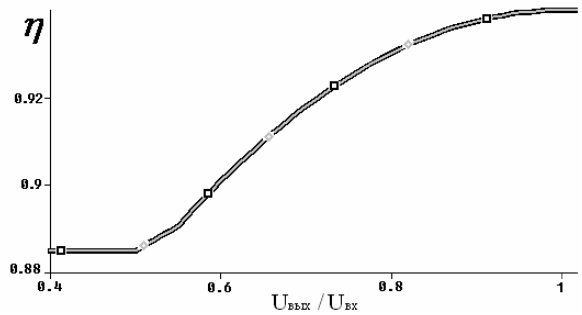
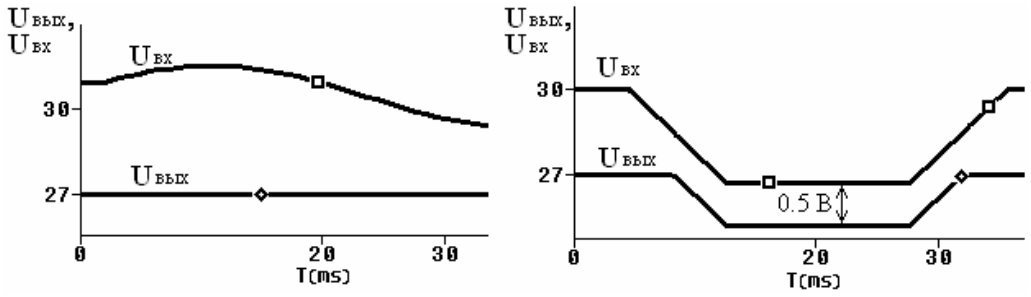


Рис. 6. Тестирование модели функционального преобразователя КПД ИСН

Анализ временных диаграмм (см. рис. 7) показывает, что если входное напряжение превышает уровень напряжения стабилизации, то на выходе модели будет стабильно поддерживаться напряжение, задаваемое блоком *U*_stabil. Если же уровень входного напряжения снизится до величины, близкой к уровню напряжения стабилизации, то выходное напряжение также начнет снижаться. Разница между выходным и входным напряжением задается блоком *U*_ust.

При тестировании модели ИСН в режиме тока ограничения (см. рис. 9) было определено, что коммутация нагрузки *R*5 в момент времени $t = 5$ с приводит к росту тока нагрузки, но поскольку величина тока нагрузки не превышает уровня *I*_ust, то напряжение на выходе модели ИСН остается неизменным. Коммутация нагрузки *R*6 в момент времени $t = 15$ с приводит к росту тока нагрузки, превышающему уровень *I*_ust, и напряжение на выходе модели ИСН снижается.



а *б*

Рис. 7. Тестирование модели ИСН:
а – временная диаграмма режима стабилизации выходного напряжения; *б* – временная диаграмма режима стабилизации выходного напряжения с демонстрацией снижения выходного напряжения при уменьшении входного напряжения

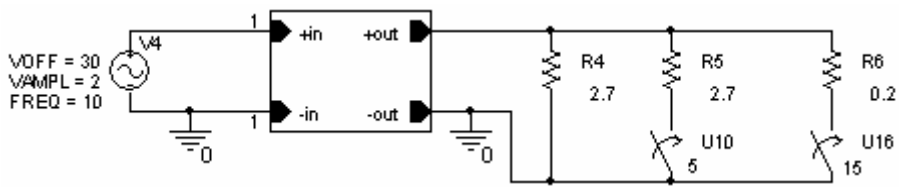


Рис. 8. Схема для тестирования модели ИСН в режиме тока ограничения

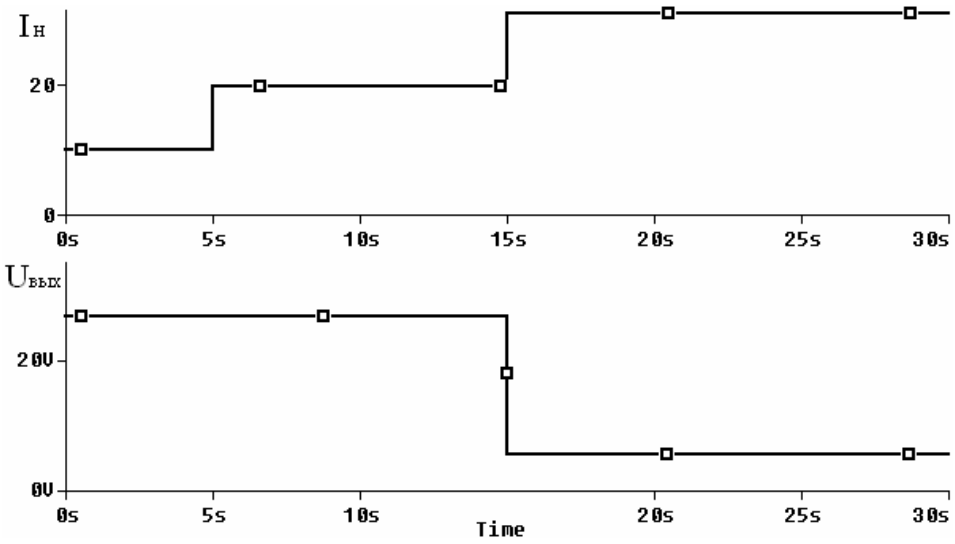


Рис. 9. Результаты тестирования модели ИСН в режиме тока ограничения

Таким образом, разработанная энергетическая модель импульсного стабилизатора напряжения с использованием функциональных блоков в программном пакете автоматизированного проектирования OrCAD обеспечивает возможность расчета энергетических характеристик в следующих режимах: режиме стабилизации выходного напряжения, режиме прерывания процесса стабилизации выходного напряжения при снижении входного напряжения ниже уровня напряжения стабилизации и режиме тока ограничения.

Использование представленной модели при проектировании энергетических режимов различных систем электропитания позволяет снизить длительность расчетов на 3…5 порядков без снижения их точности.

Библиографические ссылки

1. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. М. : Техносфера, 2005.

2. Разевиг В. Д. Система проектирования OrCAD 9.2. М., 2001.

S. S. Post, Yu. V. Krasnobaev, A. V. Chubar

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF ENERGETIC MODELS OF PULSE VOLTAGE STABILIZERS

The logic of functioning of the developed energetic model of a pulse voltage stabilizer matches to logic of functioning of a real pulse voltage stabilizer. Technique of simulation and investigation of energetic processes in power supply structures was developed with the help of modern CAD systems. Researches of modes of a pulse stabilizer were made with the help of OrCAD 9.2.

Keywords: power system, pulse stabilizer, energetic model.

© Пост С. С., Краснобаев Ю. В., Чубарь А. В., 2012

УДК 517.977.1

А. Н. Рогалев, А. А. Рогалев

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ВКЛЮЧЕНИЙ ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ В ЗАДАЧАХ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДВИЖЕНИЕМ САМОЛЕТА

Описывается применение гарантированных методов, позволяющих вычислять границы фазовых состояний управляемых объектов. Рассматриваются в модельной постановке следующие задачи: задача наблюдения за накопившимися боковыми отклонениями движения самолета, а также задача вычисления включения области достижимости при движении самолета на горизонтальной плоскости. В основе нахождения включений лежит способ построения символьных формул решений и оценивания всех возможных ее значений. Приводятся результаты расчетов.

Ключевые слова: гарантированная граница, фазовое состояние управляемых объектов, символьная формула решений, границы области всех возможных состояний.

В большинстве практических задач в условиях априорной неопределенности управление ведется относительно либо внешних воздействий, либо текущего состояния объекта, либо того и другого одновременно. При этом состояние объекта измеряется не точно, а с некоторыми погрешностями. Внешние воздействия заранее неизвестны и могут измеряться в ходе процесса с некоторой ошибкой [1–3]. При построении управления предполагаются известными лишь какие-либо общие характеристики возмущений и погрешностей измерения, а конкретные реализации их непредсказуемы.

При управлении в условиях неопределенност нужно обеспечить определенное качество процессов. При этом возможны два подхода: вероятностный и гарантированный (минимаксный), каждый из которых имеет свои преимущества [4].

При вероятностном подходе предполагается, что участвующие в задаче факторы неопределенности обладают свойством статистической устойчивости и представляют собой случайные величины или случайные функции с известными вероятностными характеристиками. По ним находятся вероятностные характеристики исследуемых управляемых процессов, которые в ряде случаев могут служить показателями качества управления (например, широко распространенный показатель точности – величина среднеквадратической ошибки). Вероятностный подход к задачам определения и коррекции движения иногда приводит к выводам, не соответствующим реальным условиям решаемых задач. Это в первую очередь относится к оценке точности получаемых результатов и выбору стратегии решения задачи, обеспечивающей максимальную точность. Кроме того, статистические характеристики – это результаты осреднения по большому числу опытов. Поэтому они принципиально не могут гарантировать определенный исход одного конкретного опыта.

Если необходимо гарантировать определенное качество процесса в каждом отдельном случае, приходится ориентироваться на самое неблагоприятное (экстремальное) сочетание параметров неопределенности. В этом случае для описания всех фазовых состояний динамических систем используется гарантированный подход, оценивающий все фазовые состояния в условиях неточных измерений.

Рассмотрим вопросы применения гарантированных методов, основанных на символьном представлении формул решений [5–9], в двух типичных задачах динамики полета, при решении которых необходимо учитывать влияние многих реально существующих возмущений на движение летательного аппарата. Одной из таких задач является анализ процесса автоматической посадки самолета, в первую очередь сводящийся к оценке возможных значений параметров траекторного и углового движения самолета в момент касания шасси взлетно-посадочной полосы (ВПП). Этот этап можно расценить как наиболее ответственный в смысле выполнения ограничений, наложенных на параметры движения в момент касания ВПП. Вторая задача заключается в оценке областей всех возможных фазовых состояний самолета (множеств достижимости) при движении на горизонтальной плоскости в том случае, когда текущее состояние системы измеряется неточно, но с известными ограничениями на ошибку измерений. Например, в работах [10; 11] рассматривается построение информационных множеств в задаче наблюдения за движением самолета в горизонтальной плоскости. Под информационным множеством понимается совокупность всех фазовых состояний, совместных с полученными измерениями, при этом известны геометрические ограничения на ошибки замеров.

В отличие от данного подхода, в статье вычисляются включения множеств достижимости управляемых систем в общем, в том числе системы с нелинейной правой частью.

Поведение управляемого объекта выражается системой дифференциальных уравнений

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y, u), \quad u \in P, \quad t \in [t_0, \theta], \quad t_0 < \theta < \infty. \qquad (1)$$

Выполнение гарантированных методов, основанных на аппроксимации оператора сдвига вдоль траектории, разделено на два этапа: предиктор и корректор.

На первом этапе (предиктор) происходит построение (запись) символьных формул приближенных решений как векторных функций $S^n(Y^0) \circ S^{n-1}(Y^0) \circ \ldots \circ S^1(Y^0)$, где вектор Y^0 – вектор

начальных значений, рассматриваемых как символьные величины. Затем вычисляется область значений S_y этой формулы.

Символьная формула (аналитическое выражение) – запись имен переменных и совокупности действий, которые нужно проделать в определенном порядке над значениями этих переменных. В дальнейшем при записи символьных формул, аппроксимирующих оператор сдвига вдоль траектории, допускается включение в них числовых констант, с отложенным выполнением арифметических действий над ними.

Пусть K_i – последовательность нормированных пространств, зависящих от параметра u, принадлежащего множеству U; $Y_i, i = 1, ..., n-1$ – последовательность символьных формул непрерывных отображений F^i, определенных на прямом произведении $K_1 \times K_2 \times ... \times K_n$, которые отображают это произведение в пространство K_{n+1} и задают зависимость между значениями решения в каждой точке области определения и начальными значениями решения. Результат последовательного исполнения преобразований формул

$$
\begin{gathered}
Y^1 = F^1(t^0, t^1, Y^0, Y^1) = S^1(Y^0), \\
Y^2 = F^2(t^0, t^1, t^2, Y^0, Y^1, Y^2) = S^2(Y^0) \circ S^1(Y^0), \\
Y^i = F^i(t^0, \ldots, t^i, Y^0, Y^1, \ldots, Y^i) = S^i(Y^0) \circ \ldots \circ \\
\circ S^2(Y^{i-1}) \circ S^1(Y^i), \qquad (2) \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
Y^m = F^m(t^0, \ldots, t^m, Y^0, Y^1, \ldots, Y^m) = S^m(Y^0) \circ \ldots \circ \\
\circ S^2(Y^{i-1}) \circ S^1(Y^i)
\end{gathered}
$$

будет называться символьной формулой (опорной траекторией) метода, заданной сдвигом вдоль траектории ОДУ. В рассматриваемых задачах управление является измеримой функцией, что не допускает применения методов рядов Тейлора для построения опорных траекторий. Включение в правую часть управляемой системы управления u, принадлежащего произвольному множеству U, позволяет учитывать все управляющие воздействия при построении множеств достижимости управляемых систем.

Представим кратко этапы выполнения гарантированного метода.

1. Начало выполнения алгоритма – инициализация всех переменных, идентифицирующих систему: размерность системы, вид правой части, список переменных, начальные данные.

2. Запись компонент символьных формул решений как векторных функций, состоящих из символьных компонент $s(t^k)$, зависящих от символьных форм начальных данных $y_1^0, ..., y_n^0$. Каждая компонента символьного вектора определяется заново в каждой точке t^k как функция, зависящая от символьных начальных данных $y_1^0, ..., y_n^0$.

3. Последовательное исполнение метода хранения и переработки символьной информации при продвижении вдоль траектории решений, производящееся на основе статичного хранения этой информации, работы с адресацией памяти с помощью функций потоковой обработки.

4. Преобразование символьной формулы приближенного решения к виду, который позволяет эффективно и быстро вычислять оценки областей значений приближенных решений (S-решения), соответствующие изменениям параметров задачи.

5. Представление символьной формулы (вектора с символьными компонентами) Y, аппроксимирующей оператор сдвига вдоль траектории, позволяет определить прообразы экстремальных значений (верхних и нижних границ для множеств решений).

6. Гарантированные границы глобальной ошибки множества приближенных решений устанавливаются на основе суммирования оценок локальной ошибки вдоль траектории, заданной символьным решением, причем эти ошибки привязаны к каждому экстремальному значению S-решения.

7. Определение границы включений множества приближенных решений поставленной задачи. При этом используются машинные арифметические операции с направленными округлениями. Полезно отметить, что для большинства тестовых примеров включение обеспечивается уже для множества S-решений, хотя этот факт является эмпирическим.

В итоге величина $Y(t)$ – это гарантированная оценка множества точных решений с учетом всех видов ошибок. Более детальное описание собственно алгоритма реализации класса гарантированных методов можно прочитать в [5–9; 12–14], а также в цитированных там работах.

Вычисления границ множества решений используют тот факт, что построенные символьные формулы решений являются кусочно-полиномиальными функциями, зависящими от $y_1^0, ..., y_n^0$. Множество значений приближенных решений является выпуклым и компактным множеством. Его возможно аппроксимировать внешним многогранником, включающим множество решений.

В силу этого модель вычислений (преобразований и вычислений) символьных формул осуществляется без явного выписывания суперпозиций их компонент, определяемых на каждом шаге. Связь между этими компонентами определяется посредством задания механизма адресации. Ссылки на адреса различных уровней хранятся в стековой памяти в виде дерева. Генерация кода вычислений по формуле (3) осуществляется в процессе обхода этого дерева, начиная с вершин.

Итогом работы описанного выше алгоритма будет возможность в любой точке t^k построить символьную формулу решения (2) и вычислять на основе этой формулы значения решений.

Рассмотрим результаты применения методов, основанных на аппроксимации оператора сдвига вдоль траектории, для оценки всех фазовых состояний в задаче наблюдений (1).

На самолетах, выполняющих пассажироперевозку, эксплуатируется несколько систем управления, предназначенных для захода на посадку в сложных метеоусловиях. Установлен ряд эксплуатационных категорий (посадочных метеоминимумов), характеризуемых дальностью видимости на ВПП и высотой принятия решения (ВПР). Если на указанной в требованиях высоте принятия решения экипаж устанавливает визуальный контакт с земными ориентирами, то, как правило, автоматическое управление отключается, продолжение захода и посадка осуществляются при ручном управлении по земным ориентирам. Если на высоте принятия решения установить визуальный контакт с землей не удастся, самолет уходит на второй круг.

Поскольку участок траектории захода на посадку, остающийся после перехода на ручное управление, очень мал и полет происходит на малой высоте, возможности исправления накопившихся отклонений весьма ограничены. Поэтому к моменту принятия решения необходимо вывести систему в некоторую область пространства состояний.

Таким образом, возникают две связанные друг с другом задачи [10; 11; 15].

1. Построить область D допустимых отклонений на ВПР, из любой точки которой за оставшееся время самолет может быть выведен при ручном управлении на участок ВПП, отведенный для посадки.

2. Для участка автоматического управления построить область W возможных состояний системы на ВПР, куда гарантируется попадание при любых допустимых, в том числе экстремальных возмущениях.

Решение этих задач позволит проверить условие

$$D \subset W.$$

Если это вложение справедливо, система обеспечивает управление самолетом с необходимой точностью. В противном случае возможны так называемые непосадочные заходы, когда приходится принимать решение об уходе на второй круг.

Поскольку наибольшие трудности вызывает устранение накопившихся к концу участка боковых отклонений [11; 15], то имеет смысл рассмотреть отдельно случай бокового движения самолета.

Для упрощения задачи будем рассматривать только последний участок траектории захода на посадку – предпосадочную прямую. Положение самолета (рис. 1) определяется координатами его центра масс в системе координат xOz, связанной с землей, углом рыскания ψ и углом крена γ. К фазовым координатам относятся также скорости изменения этих величин $\dot{z}, \dot{\psi}, \dot{\gamma}$. Предполагается, что ось Ox совпадает с продольной осью ВПП. Тогда величина z характеризует боковое уклонение центра масс самолета от оси ВПП (см. рис. 1).

Управляющими воздействиями являются отклонения элеронов (угол $\delta_э$) и руля направления (угол $\delta_н$). К возмущениям, непосредственно действующим на самолет, также относятся изменения боковой составляющей скорости ветра W_z (действием вертикальной W_y и продольной W_x составляющих скорости пренебрегаем).

Учитывая малость отклонений самолета от заданной траектории, запишем уравнения бокового движения самолета [10; 15]:

$$\begin{aligned} \ddot{z} &= a_{z\beta}\beta + a_{z\gamma}\gamma + a_{z\delta_н}\delta_н, \\ \ddot{\psi} &= a_{\psi\beta}\beta + a_{\dot{\psi}}\dot{\psi} + a_{\psi\dot{\gamma}}\dot{\gamma} + a_{\psi\delta_н}\delta_н + a_{\psi\delta_э}\delta_э, \\ \ddot{\gamma} &= a_{\gamma\beta}\beta + a_{\gamma\dot{\psi}}\dot{\psi} + a_{\dot{\gamma}}\dot{\gamma} + a_{\gamma\delta_н}\delta_н + a_{\gamma\delta_э}\delta_э. \end{aligned} \qquad (3)$$

Здесь $\beta = \psi + \dfrac{\dot{z} - W_z}{V}$ – угол скольжения, т. е. угол между вектором воздушной скорости V и продольной плоскостью самолета. Коэффициенты a_{ij} определяются аэродинамическими параметрами самолета, такими, например, как площадь крыла, размах крыла, масса самолета, моменты инерции относительно соответствующих осей, скоростной напор, плотность воздуха, безразмерные аэродинамические коэффициенты, производные коэффициентов по соответствующим переменным.

Требования к характеристикам точности движения самолета для участка движения его по глиссаде и момента касания ВПП могут быть условно разделены на две группы: требования к малым отклонениям, которые, как правило, эквивалентны неравенствам для средних значений и среднеквадратических отклонений различных параметров траектории; вероятностные требования к предельным отклонениям.

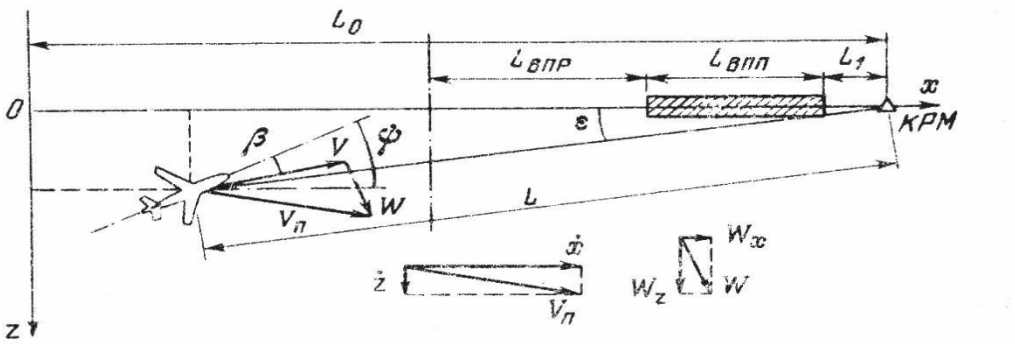


Рис. 1

Характерные значения предельных отклонений вероятностей превышения для стандартных размеров ВВП [15] с целью проведения тестовых расчетов выглядят так.

Минимальная дальность касания от среза ВВП $L_{\min} = 60$ м, $p_{L_{\min}} = 10^{-6}$. Максимальная дальность $L_{\max} = 900$ м, $p_{L_{\max}} = 10^{-6}$. Боковое смещение от оси ВВП $|z|_{\max} = 21$ м, $p_z = 10^{-6}$. Вертикальная скорость $V_{gy} = V_{gy}^*$, $p_{V_{gy}} = 10^{-6}$. Величина V_{gy}^* определяется прочностью шасси самолета и для типичных пассажирских самолетов составляет от 3 до 4,4 м/с.

Минимальный угол тангажа $\vartheta_{\min}$ определяется условием касания ВПП передней стойкой шасси раньше, чем основными стойками $p_{\vartheta_{\min}} = 10^{-8}$. Максимальный угол тангажа $\vartheta_{\max}$ определяется условием касания хвостовой частью фюзеляжа самолета ВПП раньше, чем основными стойками шасси $p_{\vartheta_{\max}} = 10^{-8}$. Максимальный угол крена $\gamma_{\max}$ определяется условием касания поверхностей земли крылом или двигателем самолета под крылом $p_{\gamma_{\max}} = 10^{-8}$. Границы включений областей допустимых отклонений под влиянием быстрых изменений скорости бокового ветра представлены на рис. 2, 3. При выборе области допустимых начальных состояний объекта предполагаем, что управляющее воздействие выбирается так, чтобы по возможности увеличить размеры области, а возмущение стремится уменьшить их.

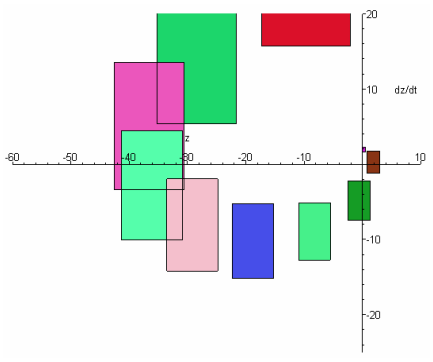


Рис. 2

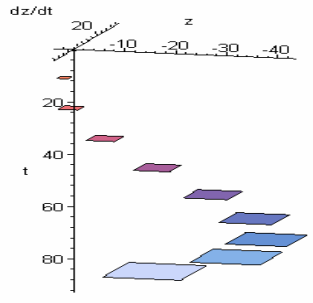


Рис. 3

Во второй рассматриваемой задаче считаем, что две фазовые переменные задают положение на плоскости, третья координата – угол направления вектора скорости. Движение самолета происходит в горизонтальной плоскости. Скалярное управление ограничено по модулю и определяет мгновенный радиус разворота вектора скорости. Силы, действующие на самолет при движении в горизонтальной плоскости, могут быть описаны так: сила сопротивления D, сила тяги T, подъемная сила L, сила тяжести mg. Векторы T, L лежат на плоскости симметрии, ортогональной подъемной силе. Такое расположение силы тяги и подъемной силы соответствует ситуации координированного разворота. Вводятся также угол атаки тяги ε, угол крена (угол между вертикальной плоскостью и плоскостью симметрии) μ.

Если взять кинематические уравнения и соотношения равновесия сил в проекции на естественные оси (касательную (t), главную нормаль (n), бинормаль (b)), то получится система из пяти уравнений

$$\begin{gathered}
\frac{dx}{dt} - V\cos\varphi = 0, \\
\frac{dy}{dt} - V\sin\varphi = 0, \\
T\cos\varepsilon - D - m\frac{dV}{dt} = 0, \\
(T\sin\varepsilon + L)\sin\mu - mV\frac{d\varphi}{dt} = 0, \\
(T\sin\varepsilon + L)\cos\mu - mg = 0.
\end{gathered} \tag{4}$$

Величина скорости V полагается постоянной. Тогда задача наблюдения за движением самолета в горизонтальной плоскости описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{gathered}
\frac{dx}{dt} = V\cos\varphi, \\
\frac{dy}{dt} = V\sin\varphi, \\
\frac{d\varphi}{dt} = \frac{ku}{V}, \\
V = \text{const} > 0, \quad k = \text{const} > 0, \quad |u| \le 1.
\end{gathered} \tag{5}$$

Задача формулируется как проблема построения трубки множеств достижимости, а также нахождения траекторий, проходящих вблизи центра каждого временного сечения. Известно, что даже в такой постановке задача достаточно сложна [16–19]. Траектории движения с экстремальными ускорениями $u = \pm 1$ представляют собой окружности радиусом $\frac{V^2}{k}$. Границы включений множеств достижимости для геометрических координат системы (5) $y_1 \equiv x$, $y_2 \equiv y$ с параметрами $V = 40$ м/с, $V = 400$ м/с, $k = 1$ м/с^2, $k = 5$ м/с^2 приведены на рис. 4, 5.

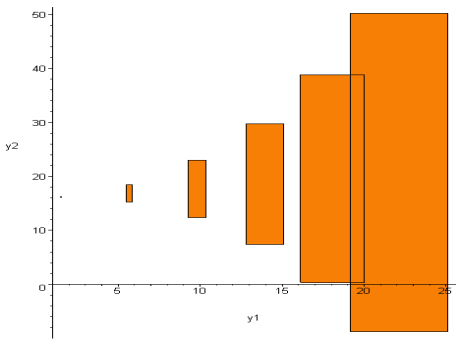


Рис. 4

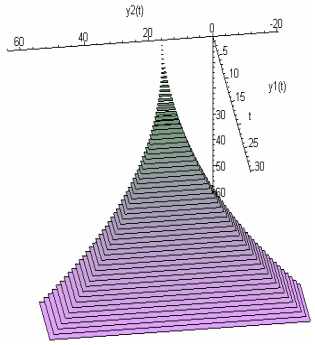


Рис. 5

Библиографические ссылки

1. Куржанский А. Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности : монография. М. : Наука, 1977.

2. Черноусько Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем : монография. М. : Наука, 1988.

3. Булгаков Б. В. Накопление возмущений линейных осциллирующих систем // Докл. АН СССР. 1946. Т. 51. С. 339–342.

4. Овсеевич А. И., Шматков А. М. Сравнение вероятностного и гарантированного подходов прогноза фазовых состояний динамических систем // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1997. № 4. С. 11–16.

5. Новиков В. А., Рогалев А. Н. Построение сходящихся верхних и нижних оценок решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Журн. вычисл. математики. 1993. № 33(2). С. 219–231.

6. Рогалев, А. Н. Гарантированные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений на основе преобразования символьных формул // Вычисл. технологии. 2003. № 8(5). С. 102–116.

7. Rogalyov A. N. Computation of reachable sets guaranteed bounds // Proc. of the IASTED Intern. Conf. on Automation, Control, and Information Technology – Control, Diagnostics, and Automation. Calgary : ACTA Press, 2010. P. 132–139.

8. Рогалев А. Н. Гарантированные оценки и построение множеств достижимости для нелинейных управляемых систем // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 5(31). С. 148–154.

9. Рогалев А. Н. Вычисление гарантированных границ множеств достижимости управляемых систем // Автометрия. 2011. Т. 47. № 3. С. 100–112.

10. Белогородский С. Л. Автоматизация управления посадкой самолета : монография. М. : Транспорт, 1972.

11. Буков В. Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом : монография. М. : Наука, 1987.

12. Рогалев А. Н. Исследование практической устойчивости при постоянно действующих возмущениях // Вычисл. технологии. 2002. № 7(5). С. 148–150.

13. Рогалев А. Н. Границы множеств решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений с интервальными начальными данными // Вычисл. технологии. 2004. № 9(1). С. 86–93.

14. Рогалев А. Н. Вопросы устойчивости ансамблей дифференциальных уравнений // Вычисл. технологии. 2008. № 13(3). С. 111–117.

15. Автоматизированное управление самолетами и вертолетами : монография / С. М. Федоров, В. В. Драбкин, В. М. Кейн, О. И. Михайлов. М. : Транспорт, 1977.

16. Информационные множества в задаче наблюдения за движением самолета в горизонтальной плоскости / С. И. Кумков, В. С. Пацко, С. Г. Пятко [и др.] // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2003. № 4. С. 51–61.

17. Бердышев Ю. И. О построении области достижимости в одной нелинейной задаче // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2006. № 4. С. 22–26.

18. Karp K. A., Kibzun A. I., Malyshev V. V. A Minimax Approach for Statistical Simulation of Complex Technical Systems. // Advances in Modelling and Simulation. 1988. Vol. 10. № 3. P. 35–46.

19. Кибзун А. И., Лебедев А. А., Малышев В. В. О сведении задачи с вероятностными ограничениями к эквивалентной минимаксной // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1984. № 4. С. 73–80.

A. N. Rogalyov, A. A. Rogalyov

NUMERICAL COMPUTATIONS OF PHASE STATES INCLUSIONS FOR PROBLEMS OF AIRCRAFT DISPLACEMENT INSPECTION

In the article the authors describe the guaranteed methods, which allow to compute the boundary of controlled objects phase states. A problem of inspection of aircraft displacement at horizontal plane is solved by means of creation of symbolic formulas and decisions and estimation of all the possible values. The results of the computations are presented.

Keywords: guaranteed boundary, phase state of the controlled objects, symbolic formula of decisions, bounds of all possible statuses area.

© Рогалев А. Н., Рогалев А. А., 2012

УДК 658.512.22

С. И. Трегубов, М. С. Учуватов, В. С. Ереско

ЭТАПЫ ВНЕДРЕНИЯ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ НА МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Рассмотрена проблема внедрения технологий информационной поддержки жизненного цикла изделия на малых предприятиях промышленности. Выделены основные этапы жизненного цикла изделия, представлена очередность их перевода на данную технологию, раскрыты возникающие проблемы и предложены возможные пути их решения.

Ключевые слова: CALS, жизненный цикл, этапы, малые предприятия.

В настоящее время проблема повышения конкурентоспособности и скорости выпуска изделий стоит особенно остро перед малыми предприятиями. Для решения данной проблемы все более широкое распространение получают современные информационные технологии, обеспечивающие процессы, которые протекают в ходе всего жизненного цикла продукции (рис. 1).

Выделяются следующие основные этапы жизненного цикла: маркетинг; проектирование и разработка; планирование и закупка материалов и комплектующих; упаковка и хранение; реализация; монтаж и ввод в эксплуатацию; техническая помощь и сервисное обслуживание; послепродажная деятельность или эксплуатация; утилизация и переработка в конце полезного срока службы [1]. Многообразие процессов в ходе жизненного цикла без соответствующей информационной поддержки порождает целый ряд проблем, среди которых отсутствие структуризации электронных данных, низкий уровень управления процессов работы с данными, открытость доступа к информации о изделии, несанкционированное изменение данных об изделии, трудности, возникающие при обмене данными между различными звеньями предприятия.

Решение данных проблем, необходимость постоянной интенсификации существующих процессов работы предприятия, активное информационное взаимодействие между отделами предприятия – все это требует внедрения технологии информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий. Но, на сегодняшний день, чтобы полностью перевести предприятие на данную технологию, необходимо затратить большие материальные средства, что делает невозможным цельное внедрение CALS-технологии на малом предприятии.

Для внедрения CALS-технологии на малых предприятиях и для того, чтобы это давало ощутимую отдачу, необходимо разработать поэтапную стратегию внедрения, связанную с процессами производства.

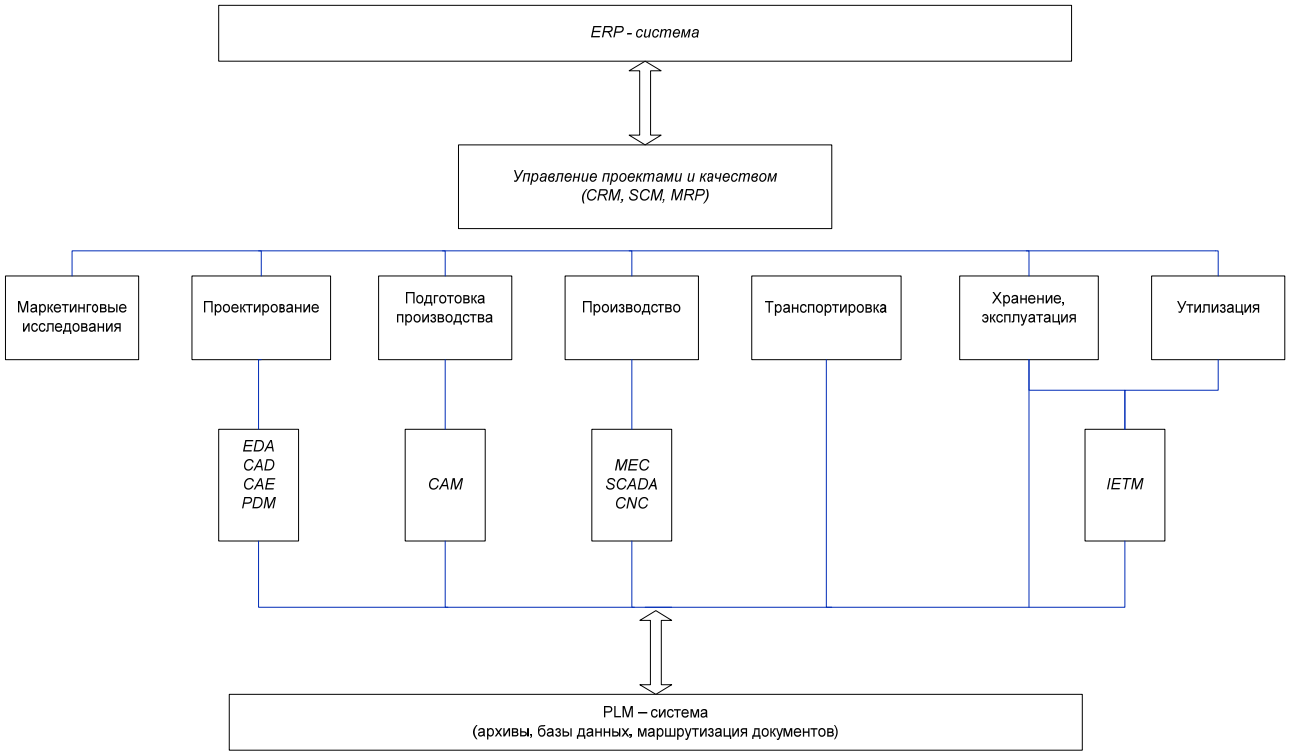


Рис. 1. Взаимосвязь этапов жизненного цикла продукции и типов автоматизированных систем

Предложена схема внедрения технологии информационной поддержки процессов жизненного цикла изделия.

На первой стадии [2] необходимо сформировать рабочую группу внедрения, состоящую из сотрудников производственных отделов (инженеров-конструкторов, инженеров-технологов и других специалистов) и специалистов отдела автоматизации (программистов, системных аналитиков). Данные сотрудники должны иметь квалификацию, позволяющую работать с различными системами автоматизированного проектирования (CAD, CAM, CAE и др.).

На второй стадии проводится анализ информационных и бизнес-процессов предприятия. Необходимо выявить существующие взаимосвязи между всеми отделами предприятия и внешними субъектами, с которыми осуществляется сотрудничество, разработать функциональные модели (рис. 2), содержащие детальное описание выполняющихся процессов в их взаимосвязи. С помощью этих моделей решается целый ряд задач, связанных с оптимизацией, оценкой величины и распределением затрат, оценкой производительности, загрузки и сбалансированности составных частей производства.

Третья стадия заключается в разработке пошаговой модели стратегии интеграции CALS-технологии в информационное пространство предприятия. Формирование данной стратегии включает выбор показателей оценки эффективности процессов, формирование целей внедрения технологии информационной поддержки жизненного цикла и стратегии их достижения. Основными показателями являются конкурентоспособность (или качество) продукции, затраты и длительность процессов разработки и освоения производства изделия.

Четвертая стадия заключается в проведении реинжиниринга производственных процессов предприятия, направленного на формирование следующих методов разработки изделия: параллельного проектирования; единого информационного пространства; взаимодействия всех отделов.

Параллельное проектирование осуществляется за счет совмещения технического и рабочего проектирования. Цель данного метода – выполнение процессов разработки и проектирования одновременно с моделированием процессов изготовления и эксплуатации. Сюда же относится одновременное проектирование различных компонентов сложного изделия. При параллельном проектировании многие проблемы, которые могут возникнуть на более поздних стадиях жизненного цикла, выявляются и решаются на стадии проектирования. Такой подход позволяет улучшить качество изделия, сократить затраты и время его вывода на рынок. Отличиями параллельного проектирования от традиционного подхода являются следующие:

– ликвидация традиционных барьеров между функциями отдельных специалистов и организаций путем создания (а при необходимости – последующего преобразования) многопрофильных рабочих групп, в том числе территориально распределенных;

– итеративность процесса приближения к необходимому результату.

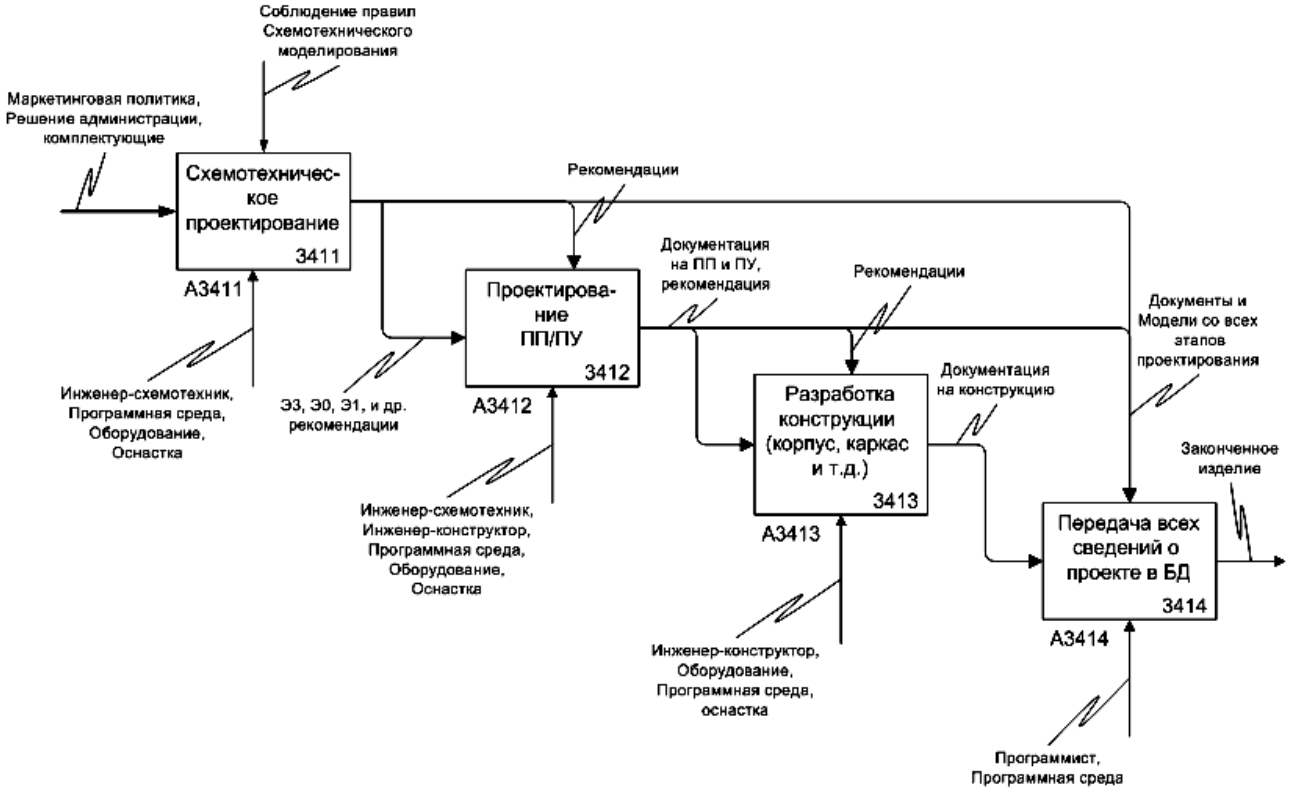


Рис. 2. Функциональная модель взаимодействия подразделений конструкторского бюро на предприятии электронной промышленности

Для функционирования параллельного проектирования необходимы многопрофильные рабочие группы, включающие специалистов разного профиля и решающие конкретные задачи. Например, представители эксплуатанта, генерального разработчика и поставщика комплектующих изделий, т. е. специалисты из разных организаций, могут быть собраны в одну рабочую группу для решения проблемы, возникшей в ходе эксплуатации. Параллельное проектирование предполагает замену традиционного последовательного подхода комплексом перекрывающихся во времени операций, направленных на систематическое улучшение разрабатываемого решения вплоть до достижения необходимого результата. Исходное понимание задачи ведет к первой версии документированных требований, на основе которых разрабатывается первоначальное проектное решение. Оно порождает новые вопросы и позволяет уточнить постановку задачи. Поскольку жесткое требование завершить текущую фазу работы перед началом следующей отсутствует, последовательное проектирование заменяется «работой по спирали».

Так же параллельно на данном этапе происходит выбор системы управления данными об изделии, технических средствах, оборудования в соответствии с техническим заданием. В зависимости от профиля предприятия варьируются и требования к планируемой к внедрению системе, но некоторые требования должны присутствовать в техническом задании практически всегда:

– система должна работать на уже имеющихся на предприятии и планируемых к использованию в перспективе программно-аппаратных платформах. В большинстве случаев сейчас применительно к системам управления жизненным циклом речь идет о серверных решениях под управлением Windows Server/ UNIX/Linux с системами управления базой данных типа SQL (MS SQL Server, Oracle и др.) и о клиентских рабочих станциях под управлением операционного семейства Windows. В перспективе не исключено массовое использование клиентских рабочих операционных систем типа Linux, PC-BSD или аналогичных (также необходимо отметить, что на начальном этапе внедрения можно воспользоваться бесплатными версиями систем управления базой данных, предлагаемыми рядом компаний, что позволит дополнительно снизить стартовую планку затрат на проект);

– система должна быть максимально открытой (полное описание структуры базы данных, передача заказчику административных прав доступа, документированное программирование интерфейсов приложений операционных систем, поддержка стандартных форматов и протоколов обмена данными, таких как STEP (ISO 10303), PLM XML и других, как для экспорта, так и для импорта данных в систему);

– система должна масштабироваться без потери производительности (в рамках приведенных в техническом задании параметров) как по количеству одновременно работающих пользователей, так и по объемам хранимых данных;

– система должна позволять осуществлять перенастройку без привлечения представителей компании-разработчика и неоправданно большого объема программирования (в идеале все изменения модели данных, логики работы системы, интерфейса и отчетных форм должны проводиться визуально, без программирования);

– система должна обладать свойствами переносимости применительно к жизненным циклам, возможностью смены программной и аппаратной платформы (системы управления базой данных, операционной системы и т. п.) без необходимости менять модель данных;

– система должна соответствовать требованиям, предъявляемым к системам управления жизненным циклам изделия по функционалу. Здесь следует обращать внимание на полноту охвата всех задач на всех стадиях жизненного цикла продукции. А это возможно только при тесной интеграции системы управления данными об изделии и системы управления внутренними и внешними ресурсами предприятия;

– система должна поддерживать международные (ISO10303, ISO 12207, ISO 10007, ISO 900и др.) и отечественные стандарты (ЕСКД, ЕСТД, СПДС и др.).

Грамотно составив техническое задание с учетом приведенных требований, уже можно существенно оптимизировать бюджет внедрения, исключив явно непригодные системы.

Пятая стадия заключается в разработке комплекса нормативно-технической документации, регламентирующей порядок ввода и изменения данных об изделии и функционирования всего предприятия в рамках единого информационного пространства (ЕИП). Стадия обеспечивается за счет интеграции выбранной системы управления данными об изделии с существующей на предприятии системой автоматизированного проектирования и другими программными средами и соблюдая специфические условия функционирования предприятия. Необходимо разработать комплекс указаний по обеспечению «правильного» проектирования 3D-геометрии, так как с ее применением будет производиться изготовление деталей на станках с ЧПУ и инженерный анализ. Стоит отметить, что для успешного использования на данном этапе связок CAD- и CAE-систем необходимо соблюдать ряд основных принципов, к которым относятся подготовка и упрощение 3D-геометрии; возможность импорта 3D-геометрии в пакеты инженерного расчета; актуальность информации, передаваемой для выполнения расчета.

Соблюдая данные требования, в ходе выполнения расчетного анализа возможно получить актуальную и достоверную информацию.

Также на данной стадии внедрения информационной поддержки жизненного цикла изделия должны быть разработаны рекомендации, касающиеся проектирования технологической документации (техпроцессы для различных видов производства, конструкторская документация на техническое обслуживание); формирования управляющих программ для станков с ЧПУ; процессов утверждения, нормоконтроля и доработки электронной конструкторской документации.

Работы на различных этапах технологической подготовки изделий допускается выполнять раздельно с последующим формированием единого сквозного «сборного» техпроцесса, содержащего в себе все необходимые виды обработки. Данная процедура позволяет существенно экономить время. Кроме того, наличие в PDM-системе на одно изделие одного электронного, содержащего все специализированные части, значительно упрощает процесс нормирования и последующей выгрузки данных в систему управления предприятием. Если в процессе подготовки обнаруживается отсутствие специализированной технологической оснастки, то технолог формирует в электронном виде заявку на ее изготовление и передает задание конструктору. Конструктор, в свою очередь, эту оснастку либо подбирает из ранее созданной и зарегистрированной, либо разрабатывает вновь с последующей регистрацией в базе данных оснастки предприятия. Результатом является оснащенный техпроцесс и актуальная база данных специализированной оснастки, связанная с зарегистрированной в системе управления данными жизненного цикла изделия конструкторской документацией на оснастку. Управляющие программы для станков с ЧПУ формируются с учетом возможного ассоциативного обновления конструкторской модели, зарегистрированной в электронном архиве предприятия.

Данная стадия также должна регламентировать и взаимодействие в едином информационном пространстве отделов, отвечающих за хранение продукции, связь с поставщиками и потребителями. Это объясняется тем, что в большинстве случаев малые предприятия не обладают достаточным количеством помещений для складирования необходимых деталей, изделий и материалов, участвующих в производстве, и производимой продукции. Благодаря внедрению системы управления жизненным циклом (системы управления данными) изделия, на которую можно завязать программную среду, используемую в данных отделах, появляется возможность оперативно вносить и отслеживать изменения по количеству производимого и хранимого товара, осуществлять связь с поставщиком материалов и знать процент занятости складских помещений. Еще одним неоспоримым плюсом такой организации работы этих отделов является возможность оперативного отслеживания динамики спроса на ту или иную продукцию, выявления причин роста или падения спроса в зависимости от сезона или других факторов, исключая необходимость проведения специализированных исследований в данном направлении, требующих дополнительных финансовых затрат.

Рассмотрим упрощенную модель единого информационного пространства, сформированного в условиях малого предприятия (рис. 3). Данная модель характеризуется следующими свойствами: обеспечивает представление информации в электронном виде; включает все данные об изделии; является единственным источником данных об изделии; для организации взаимодействия различных программно-аппаратных средств использует международные и государственные отраслевые стандарты; интегрируется с уже имеющимися и предустановленными на предприятиях системами автоматизированного проектирования и другими программными средствами [3].

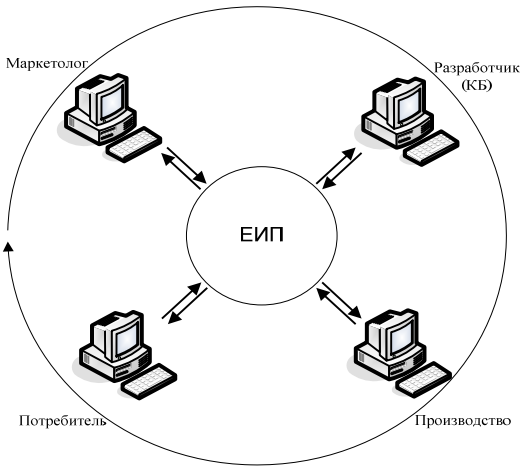


Рис. 3. Упрощенная модель единого информационного пространства

Соблюдение рекомендаций, приведенных в данной статье, позволяет достичь сокращения сроков конструкторско-технологической подготовки производства; сокращения времени, затрачиваемого на поиск данных; сокращения сроков разработки изделия и внесения в него требуемых изменений; повышения производительности труда.

С экономической точки зрения описанная технология внедрения информационной поддержки помогает оптимизировать стоимость всего жизненного цикла изделия.

Единое информационное пространство также позволяет сократить количество ошибок в документации и улучшить ее качество, повысить эффективность контроля над документами и увеличить степень безопасности и разграничения доступа к конструкторской документации.

Введение описанных выше систем на малых предприятиях дает возможность не только эффективно расходовать человеческие ресурсы предприятия, но и значительно повысить качество продукции.

Библиографические ссылки

1. Киселев В. И., Трегубов С. И. Автоматизированное формирование конструкторской документации по ЕСКД // Соврем. пробл. радиоэлектроники : сб. науч. ст. / Красноярск, 2010. С. 571–573.

2. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / Е. В. Судов, А. И. Левин, А. Н. Давыдов, В. В. Барабанов ; НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». М., 2002.

3. Учуватов М. С., Дектерев М. Л., Трегубов С. И. Критерии выбора CAD-пакетов для проектирования электронных средств // Соврем. пробл. радиоэлектроники : сб. науч. ст. / Красноярск, 2010. С. 595–598.

S. I. Tregubov, M. S. Uchuvatov, V. S. Eresko

CALS-TECHNOLOGIES INTRODUCTION STAGES AT SMALL ENTERPRISES

The authors dwell upon a problem of introduction of a product life cycle data support at small industrial enterprises. The basic stages of life cycle of a product are allocated, the sequence of transition of the given stages to the given technology is presented, the problems that can emerge and possible ways of their decision are revealed.

Keywords: CALS, life cycle, stages, small enterprise.

© Трегубов С. И., Учуватов М. С., Ереско В. С., 2012

УДК 004.932

М. Н. Фаворская, И. В. Тупицын

ИЕРАРХИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКА СООТВЕТСТВУЮЩИХ ТОЧЕК НА СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ

Рассматриваются вопросы поиска соответствующих точек на стереопарах. Приводится анализ базовых алгоритмов выявления точечных особенностей, поиска и оценки их соответствий. Подробно рассматривается новый иерархический метод поиска соответствующих точек на стереоизображениях. Результаты экспериментальных исследований подтверждают преимущества предложенного метода.

Ключевые слова: стереоизображение, точечные особенности, проективные искажения, аффинные преобразования.

Поиск соответствующих точек на изображениях является фундаментальной задачей в ряде прикладных областей, а именно: 1) при построении корреляционно-экстремальных систем навигации и систем наведения по изображениям целей; 2) при обработке космических и аэрофотоснимков (фотограмметрия, картография, экологический мониторинг земной поверхности); 3) при создании систем технического зрения, которые, в частности, выполняют задачи определения параметров движения объектов и их трехмерной реконструкции. В статье рассматривается новый иерархический метод поиска соответствующих точек на изображениях для задач трехмерной реконструкции. В качестве изображений могут выступать стереопары или совокупность соседних кадров видеопоследовательности.

Обычно методы поиска и оценки соответствий на стереопарах включают три этапа:

– нахождение точечных особенностей, углов, пересечений и других геометрических примитивов на изображении;

– составление вектора признаков особенностей. Такой вектор должен быть устойчивым к шуму, геометрическим искажениям и изменениям освещенности;

– оценка соответствия изображений. В простейших случаях используется евклидова метрика или вычисляется расстояние Махаланобиса.

Задача поиска соответствий достаточно сложна и, как правило, выполняется при упрощающих предположениях.

Обычно в качестве моделей изображения и шума используются нормальные случайные поля, однако такое допущение не всегда обосновано, поскольку локальная статистика даже в пределах одного кадра является вариабельной. Практическое использование таких оценок ограничено модельными сценами, обработка в режиме реального времени невозможна.

Другим подходом является использование матрицы Гессе вторых производных от функции яркости фрагмента изображения [1]. Пусть на изображении I задана точка P с координатами (x, y). Тогда матрица Гессе $\mathrm{H}(P, \sigma)$ в точке P с учетом среднеквадратического отклонения σ определяется как

$$\mathrm{H}(P,\sigma)=\begin{bmatrix} L_{xx}(P,\sigma) & L_{xy}(P,\sigma) \\ L_{yx}(P,\sigma) & L_{yy}(P,\sigma) \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

где $L_{xx}(P, \sigma)$ – свертка второй производной гауссиана с изображением I_P в точке P:

$$L_{xx}(P,\sigma)=\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(P)\cdot I_P. \qquad (2)$$

Аналогично выражению (2) вычисляются остальные элементы матрицы (1). При этом вводится неявное предположение об изотропности и некоррелированности возмущений (шумов) по обеим координатам. Вычисление матрицы Гессе выполняется для каждого пиксела и требует существенных вычислительных ресурсов. Однако шум на изображениях, как правило, не является изотропным (например, при перспективных искажениях), а также в качестве критериальной функции соответствия было бы желательно использовать не производные яркости изображения, а

локальные структуры (например, точечные особенности [2]).

Постановка задачи. Рассмотрим задачу оценки соответствия точек на стереопарах или на последовательностях изображений с учетом аффинных искажений. Примем, что необходимая информация извлекается из локальной структуры окрестностей точек. Пусть соответствие точек ищется на двумерной плоскости, что характерно для обработки последовательности кадров, полученных от одной видеокамеры, или стереопар, снятых некалиброванными видеокамерами, когда нельзя использовать эпиполярные ограничения для поиска соответствия по эпиполярным линиям.

Известен алгоритм оценки точности установления соответствия, использующий в качестве критериальной функции соответствия полином второго порядка по девяти пикселам (окрестность 3×3) [3]. Начало локальной системы координат помещается в точку, соответствующую экстремальному значению критериальной функции. Шаг сетки считается равным 1. Квадратичный полином имеет вид

$$F = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + g \ .$$

В статье [3] ищутся значения критериальной функции в точках 0, 1, 2, …, 8, окружающих центральный пиксел. Алгоритм строится на предположении, что некоторую информацию о структуре матрицы производных малых возмущений можно получить, оценивая возмущения критериальной функции относительно аппроксимирующего полинома во всех восьми точках окрестности по корреляционной матрице

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \operatorname{cov}(x,y) \\ \operatorname{cov}(x,y) & \sigma_y^2 \end{pmatrix},$$

где σ_x, σ_y – среднеквадратические отклонения по осям OX, OY; $\operatorname{cov}(x, y)$ – ковариация производных ошибок аппроксимации по обеим координатам (по восьми точкам окрестности).

Однако данный метод основан на исследовании локальных структур с субпиксельным разрешением. При этом локальная структура ассоциируется с единственным (центральным для исследуемой области) пикселом изображения. Чаще для оценки соответствия точек на стереопарах используют глобальные оценки с применением алгоритма RANSAC (Random Sampling Consensus) [4]. Алгоритм RANSAC отделяет точки интереса от шумовых выбросов. В общем случае не существует способа предсказания, какая точка является шумом, а какая нет. Алгоритм RANSAC построен на методе случайного перебора некоторого количества выборок из исходных данных. По каждой выборке оцениваются параметры $\alpha_0, \ldots, \alpha_n$. Предполагается, что значение функции $F(\alpha_0, \ldots, \alpha_n, \theta)$ достигает экстремума при гипотезе θ, оцененной по выборке, не содержащей шумовых выбросов. Каждая выборка строится случайным образом, т. е. из набора исходных данных последовательно выбирается некоторое количество точек. Каждая из точек набора исходных данных берется с равной вероятностью. Для максимизации вероятности построения выборки без выбросов размер выборки H берется минимально необходимым для оценки параметров модели. Основное ограничение алгоритма RANSAC заключается в том, что для оценки параметров модели требуется заранее знать параметры распределения шума в исходных данных. В случае если параметры распределения шума заранее узнать не удается, то можно воспользоваться модификацией данного метода, предложенного А. Конушиным [5].

Алгоритм AMLESAC (Adaptive Maximum Likelihood Estimation Sampling Consensus) основан на общей схеме грубой оценки параметров на основе случайных выборок, однако он дает оценку максимального правдоподобия гипотезы с одновременным вычислением параметров шума в исходных данных. Алгоритм поиска вектора параметров модели с наибольшим правдоподобием опирается на предположение, что исходные данные представляют собой смесь двух выборок. Первая выборка состоит из точек, удовлетворяющих исследуемой модели. Для таких точек ошибка согласования с моделью удовлетворяет нормальному распределению. Вторая выборка состоит из шумовых выбросов, распределенных по нормальному закону.

Введем понятия точечной особенности, следа точечной особенности, соответствия особенностей. Точечная особенность P_o – это такая точка изображения, чья окрестность отличается от окрестностей близлежащих точек P_i на некоторую величину ε, при этом функция близости окрестностей по некоторой мере $\rho(\Omega_{\mathbf{P}i}, \Omega_{\mathbf{P}\text{o}}) > \varepsilon$, где Ω – окрестность точки [2]. Пусть задана последовательность положений точечной особенности $\{P_\text{o}^{\,i}\}$, $i = \overline{n_b, n_e}$, где i – номер кадра; n_b, n_e – начальный и конечный кадры соответственно, на которых обнаружена точечная особенность. Такая последовательность положений называется следом точечной особенности. След точечной особенности считается корректным, если существует совокупность проекций некоторой точки сцены на набор кадров исходной последовательности. Обнаружение следов точечных особенностей усиливает предполагаемое соответствие между изображениями и набором точечных особенностей сцены. Соответствием (matching) называется пара точек P_i, P_{i+1} на изображениях I_j, I_{j+1}, которые соответствуют одной и той же точечной особенности P_o. В общем случае любая пара точек из следа точечной особенности является соответствием. Соответствие (P_i, P_{i+1}) корректно, если существует точка трехмерной сцены, проекции которой – точки (P_i, P_{i+1}).

Существуют два основных подхода к поиску соответствий на изображениях. Первый подход базируется на методах сопоставления точечных особенностей. В простейшем случае используется метод последовательного перебора всевозможных пар особенностей P_i, P_{i+1} на изображениях I_j, I_{j+1} для поиска наиболее близких (в смысле выбранной метрики) точечных особенностей. Второй подход использует отслежива-

ние особенностей, когда для каждой точечной особенности P_i изображения I_j на изображении I_{j+1} ищется точка P_{i+1}, наиболее близкая к точке P_i в соответствии с выбранной метрикой. Обычно для поиска точки P_{i+1} используется алгоритм Лукаса–Канаде, в основу которого положен итеративный алгоритм на основе метода градиентного спуска. Понятно, что для поиска соответствий на стереопаре целесообразно применение первого подхода, так как количество изображений ограничено двумя изображениями, полученными как от калиброванной, так и неоткалиброванной видеокамеры в общем случае. Усовершенствуем метод поиска точечных особенностей на стереопаре, который позволит быстрее находить соответствия на имеющихся снимках.

Иерархический метод поиска точечных особенностей. Предлагаемый иерархический метод поиска точечных особенностей на стереопарах можно разделить на два этапа. На первом этапе происходит извлечение и сопоставление точечных особенностей, второй этап предназначен для повышения устойчивости выявленных сопоставлений.

Извлечение и сопоставление точечных особенностей. Алгоритм SURF (Speed Up Robust Features), впервые предложенный Г. Бэем в 2008 г. [1], основан на использовании интегральных изображений и вычислении взвешенного определителя матрицы Гессе. При построении дескриптора точечных особенностей применяются двумерные вейвлеты Хаара. Основным преимуществом алгоритма SURF является быстрота работы в сочетании с инвариантностью к масштабу и вращению изображения, а также небольшим изменениям освещения. Поскольку изображения, полученные неоткалиброванными камерами, имеют проективные искажения, для сопоставления точечных особенностей требуются методы, устойчивые к ним. В данной статье предлагается алгоритм сопоставления точечных особенностей, использующий устойчивый к проективным искажениям дескриптор, описывающий точечные особенности.

Пусть точечные особенности определены одним из известных способов [2]. Для достижения устойчивости вычислим направление градиента (G_x, G_y) в окрестности Ω особой точки размером $(2k + 1)\times(2k + 1)$ пикселов, используя оператор Собела:

$$G_x = \frac{\partial I}{\partial x} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \frac{\partial I}{\partial y} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Однако оператор Собела применяется не непосредственно к исходному изображению, а к его гауссиану G_Σ:

$$G_x^\Sigma = G_\Sigma \cdot \frac{\partial I}{\partial x}, \quad G_y^\Sigma = G_\Sigma \cdot \frac{\partial I}{\partial y}.$$

Чем больше окрестность особой точки, тем точнее вычисляется направление градиента, однако при этом затрачивается больше вычислительных ресурсов. Фильтр Гаусса используется для устранения посторонних шумов на изображении и снижения влияния мелких деталей изображения на вычисление общего направления, для этого фильтр применяется с большим значением среднеквадратического отклонения σ (как правило, $\sigma = 2$). Тогда направление вектора градиента в любой точке окрестности вычисляется как

$$\Theta = \arctan\left(\frac{G_x^\Sigma}{G_y^\Sigma}\right), \tag{3}$$

а длина градиента определяется по формуле

$$G = \sqrt{\left(G_x^\Sigma\right)^2 + \left(G_y^\Sigma\right)^2}. \tag{4}$$

Используя выражения (3) и (4), найдем направление и длину обобщенного вектора по всей окрестности точечной особенности как сумму направлений и длин векторов градиентов во всех точках окрестности к количеству точек:

$$\Theta_{\text{mean}} = \frac{\sum_{i=-k}^{k}\sum_{j=-k}^{k}\Theta\left(x_0 + i, y_0 + j\right)}{\left(2k+1\right)^2 - b},$$

$$G_{\text{mean}} = \frac{\sum_{i=-k}^{k}\sum_{j=-k}^{k}G\left(x_0 + i, y_0 + j\right)}{\left(2k+1\right)^2 - b},$$

где (x_0, y_0) – координаты точечной особенности; b – количество так называемых плохих точек окрестности, т. е. точек, в которых значения G_x, G_y равны нулю.

Также помимо направления обобщенного вектора по окрестности точечной особенности вычислим направления в окрестностях точек P_1, P_2, координаты (x, y) которых

$$x = k \cdot \cos\left(\Theta + \alpha\right) + x_0,$$

$$y = k \cdot \sin\left(\Theta + \alpha\right) + y_0,$$

где Θ – направление особой точки; α – угол поворота; k – величина шага. Для окрестности точки P_1 угол α выбирается равным $\pi/2$, а для окрестности точки P_2 – $3\pi/2$. На примере показаны векторы направлений в окрестностях точечных особенностей (рис. 1).

Рис. 1. Вычисление направлений в окрестностях особых точек

Вычисление направления градиента в окрестности точечной особенности позволяет добиться устойчивости дескриптора к повороту, а вычисление двух до-

полнительных направлений требуется для достижения устойчивости к проективным преобразованиям. Следующий этап вычисления дескриптора – это приведение четырехугольной области, вершинами которой являются начала и концы дополнительных векторов, к прямоугольному виду и заданному размеру. Таким образом, получаются два выровненных сегмента изображения на левом L и правом R изображениях. Сравнение полученных областей производится с помощью нормализованной кросс-корелляции NCC:

$$\mathrm{NCC} = \frac{\sum_{i=0}^{2k+1}\sum_{j=0}^{2k+1} L(i,j)R(i,j)}{\sqrt{\sum_{j=0}^{2k+1} L(i,j)^2 \sum_{j=0}^{2k+1} R(i,j)^2}}. \quad (5)$$

Далее для сопоставления всех найденных точечных особенностей строится матрица похожести размерностью $N \times M$, где N – количество точечных особенностей левого изображения, а M – количество точечных особенностей правого изображения. Элементы матрицы представляют собой результат вычисления функции нормализованной кросс-корелляции (5).

При этом минимальные элементы матрицы будут соответствовать наиболее похожим особым точкам. Следует учитывать, что одна особая точка на одном изображении может соответствовать только одной особой точке на другом изображении. Исходя из данного ограничения, построим алгоритм сопоставления точечных особенностей. Этапы алгоритма следующие.

1. Вычислить матрицу похожести.

2. Вычислить максимальный элемент матрицы.

3. Осуществить поиск минимального элемента матрицы:

– если минимальный элемент равен максимальному элементу, тогда алгоритм прекращает свою работу;

– если значение минимального элемента меньше максимального, тогда перейти к шагу 4.

4. Поставить в соответствие точки из множества дескрипторов особых точек с номерами, соответствующими номерам строки и столбца минимального элемента.

5. Установить значения элементов строки и столбца матрицы равными максимальному элементу и перейти к шагу 3.

Данный алгоритм выполнятся до тех пор, пока не будут найдены все соответствия для особых точек. Преимущество алгоритма заключается в исключении из рассмотрения тех точек, для которых уже было найдено соответствие. Это приводит к сокращению лишних операций проверок и операций сравнения.

Пример стереопары и построенного по ней векторного пространства точечных особенностей представлен на рис. 2.

Для отсечения ложных сопоставлений предлагается использовать векторное пространство, в котором началом вектора является точка на левом изображении (рис. 2, *а*), а концом – соответствующая ей точка на правом изображении (рис. 2, *б*). Правильные соответствия в таком векторном поле (рис. 2, *в*) будут иметь определенную закономерность (определенную длину и направление), которой не проявляют ложные соответствия. Таким образом можно отсечь ложные сопоставления.

Помимо отсечения ложных сопоставлений, векторное поле можно использовать для установления дополнительных соответствий. Поскольку известна закономерность соответствия особых точек, мы можем для тех точечных особенностей, которым не было найдено соответствие, произвести поиск в направлении полученных векторов соответствия. Таким образом можно увеличить количество сопоставленных точечных особенностей.

Повышение устойчивости сопоставлений. После сопоставления особых точек требуется определить модель, с помощью которой вычисляются остальные соответствия на изображениях. В данном случае такой моделью будет некоторая матрица отображения точек одного изображения в точки другого. Оценка модели происходит следующим образом.

1. Устанавливаем некоторый критерий попадания в массив достоверных соответствий.

2. Случайным образом выбираем некоторое количество точек, достаточное для построения модели.

3. С помощью полученной модели вычисляем соответствия для остальных точек.

4. Для каждого вычисленного соответствия производим оценку его попадания в массив достоверных соответствий.

5. Повторяем шаги 2–4 заданное количество раз.

6. Выбираем модель с наибольшим количеством достоверных соответствий.

а *б* *в*

Рис. 2. Стереопара и построенное по ней векторное поле соответствий:
а – левое изображение; *б* – правое изображение; *в* – поле соответствий

Предлагается новый алгоритм оценки попадания точки в массив достоверных соответствий. При этом в качестве модели используется аффинная модель и свойство аффинного преобразования, заключающееся в постоянном коэффициенте соотношения областей интереса.

Разделим изображения стереопары на регионы с помощью сетки заданного размера, например 25 % от ширины и высоты изображения. Таким образом, изображение делится на 16 областей F, в каждой из которых случайным образом выбирается четыре соответствующие точки. Выбранные четыре соответствия используются для построения четырех треугольных областей. Обозначим область на левом изображении как A_i, а область на правом изображении – как A'_i. Для каждой пары из полученных треугольников вычислим соотношение ratio_i:

$$\text{ratio}_i = \frac{A_i}{A'_i}, \quad i = 1,\ldots, 4. \tag{6}$$

Нормализация соотношений вида (6) производится путем их деления на максимальное значение из четырех для каждой из 16 областей:

$$\overline{\text{ratio}_i} = \frac{\text{ratio}_i}{\max\left(\text{RATIO}\right)},$$

$$\text{RATIO} = \left\{\text{ratio}_1, \text{ratio}_2, \text{ratio}_3, \text{ratio}_4\right\},$$

в результате чего итоговая величина соотношения ratio_F по области F будет определена как

$$\text{ratio}_F = \max\left(\overline{\text{RATIO}}\right) - \min\left(\overline{\text{RATIO}}\right),$$

$$\overline{\text{RATIO}} = \left\{\overline{\text{ratio}_1}, \overline{\text{ratio}_2}, \overline{\text{ratio}_3}, \overline{\text{ratio}_4}\right\}.$$

Если значение ratio_F меньше некоторого заданного значения ε, тогда все точки выбранного региона помечаются как достоверные особенности; в противном случае точечные особенности считаются недостоверными особенностями. Таким образом, наиболее достоверная модель определяется по наибольшему количеству достоверных точек.

Экспериментальные исследования. Для тестирования разработанного метода дополнительно были произведены эксперименты с изображениями из базы данных Нистера и Стьюниса (D. Nister, H. Stewenius) [6], которая содержит по четыре изображения 2 550 объектов. Примеры изображений приведены на рис. 3. Рассчитывались точечные особенности для двух изображений одного и того же объекта. Затем программа генерировала примерные ракурсы третьего и четвертого изображений объекта и сравнивала положение точечных особенностей. Такая технология была использована для верификации разработанного программного продукта.

Количество правильных соответствий и ложных срабатываний для метода последовательного перебора и иерархического метода приведены в таблице. Все изображения условно разделены на три группы: простые сцены, сцены средней сложности и сильно текстурированные сцены. По данным видно, что экспериментальные результаты для простых сцен и сцен средней сложности являются хорошими, но при этом иерархический метод работает на 20 % быстрее, чем метод последовательного перебора. Обработка сильно текстурированных сцен дает худшие результаты, но при этом время работы иерархического метода возрастает почти на 30 % по сравнению с методом последовательного перебора.

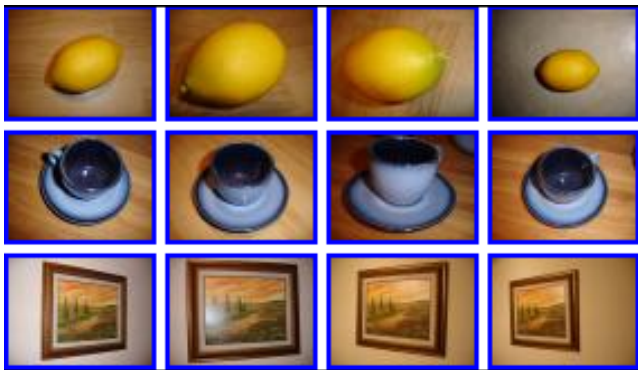


Рис. 3. Примеры изображений из базы Нистера и Стьюниса

Таким образом, представлен новый иерархический метод поиска соответствующих точек на стереопарах, позволяющий повысить устойчивость сопоставления, сохраняя при этом быстродействие метода, основанного на алгоритме SURF.

Экспериментальные результаты поиска точечных особенностей

Методы / Сцены	Метод последовательного перебора			Иерархический метод		
	Правильные соответствия, %	Ложные соответствия, %	Условные операции, тыс. операций	Правильные соответствия, %	Ложные соответствия, %	Условные операции, тыс. операций
Простые сцены	76,4	23,6	128…360	92,11	7,89	131…363
Сцены средней сложности	75,72	24,28	360…490	90,4	9,6	363…493
Сложные сцены	69,93	30,07	490…757	88,57	11,43	493…760

Экспериментальные результаты подтверждают работоспособность предлагаемого метода, быстродействие которого увеличивается на 20…25 % по сравнению с методом последовательного перебора, не ухудшая качества сопоставления точечных особенностей.

Библиографические ссылки

1. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. // Computer Vision and Image Understanding. 2008. Vol. 110. P. 346–359.

2. Фаворская М. Н., Шилов А. С. Алгоритмы реализации оценки движения в системах видеонаблюдения // Системы управления и информ. технологии / ИПУ РАН ; ВГТУ. № 3.3(33). М. ; Воронеж, 2008. С. 408–412.

3. Гришин В. А. Оценка точности установления соответствия в системах технического зрения // Цифровая обработка сигналов. 2008. № 4. С. 2–6.

4. Форсайт Д. А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход : пер. с англ. М. : Вильямс, 2004.

5. Konouchine A., Gaganov V., Vezhnevets V. AMLESAC: A New Maximum Likelihood Robust Estimator // Proc. of Graphicon-2005. Novosibirsk, 2005. P. 93–100.

6. Nister D., Stewenius H. Scalable recognition with a vocabulary tree // Proc. of CVPR. Washington, 2006. P. 2161–2168.

M. N. Favorskaya, I. V. Tupitsyn

HIERARCHICAL METHOD OF SEARCH OF CORRESPONDING POINTS AT STEREOIMAGES

The authors consider problems of search of corresponding points at stereoscopic pairs. Analysis of the basic algorithms of revelation of point features, search and estimation of their match conditions, is presented. A new hierarchical method of search of corresponding points at stereoscopic images is considered in details. Experimental results confirm advantages of the proposed approach.

Keywords: stereoscopic image, point features, projection distortions, affine transformations.

© Фаворская М. Н., Тупицын И. В., 2012

УДК 512.54

К. А. Филиппов

О ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГРУППЫ ШУНКОВА, НАСЫЩЕННОЙ $L_2(p^n)$

Пусть I – множество индексов, K_α – конечное поле для любого $\alpha \in I$, $M = \{L_2(K_\alpha) \mid \alpha \in I\}$ и $N = \{SL_2(K_\alpha) \mid \alpha \in I\}$. Доказано, что группа Шункова G, насыщенная группами из множества M (соответственно N), обладает периодической частью $T(G)$, изоморфной $L_2(P)$ (соответственно $SL_2(P)$) для подходящего локально конечного поля P.

Ключевые слова: насыщенность, группа Шункова, периодическая часть.

Группа G насыщена группами из множества групп $\mathfrak{X}$, если любая конечная подгруппа из G содержится в подгруппе, изоморфной некоторой группе из $\mathfrak{X}$ [1].

Напомним определение группы Шункова. *Группа называется группой Шункова, если в каждом ее сечении по конечной подгруппе, включая единичную, любая пара сопряженных элементов простого порядка порождает конечную подгруппу.*

В данной работе I означает множество индексов, K_α – конечное поле для любого $\alpha \in I$, $M = \{L_2(K_\alpha) \mid \alpha \in I\}$ и $N = \{SL_2(K_\alpha) \mid \alpha \in I\}$. Отметим, что для различных α и β характеристики полей $K\alpha$ и K_β могут быть различными.

В [2] доказано, что произвольная периодическая группа G, насыщенная группами из множества M (соответственно N), изомофна $L_2(P)$ (соответственно $SL_2(P)$) для подходящего локально конечного поля P. В данной работе этот результат переносится на группы Шункова без предположения о их периодичности.

Доказываются следующие теоремы.

Теорема 1. Группа Шункова G, насыщенная группами из множества M, обладает периодической

частью $T(G)$, изоморфной простой группе $L_2(P)$ над подходящим локально конечным полем P.

Теорема 2. Группа Шункова G, насыщенная группами из множества N, обладает периодической частью $T(G)$, изоморфной группе $SL_2(P)$ над подходящим локально конечным полем P.

Доказательство теоремы 1. Пусть G – контрпример к теореме 1. Обозначим через S силовскую 2-подгруппу группы G.

Лемма 1. Если в периодической группе G некоторая силовская 2-подгруппа конечна, то все силовские 2-подгруппы из G конечны и сопряжены.

Доказательство. Обозначим через S конечную силовскую 2-подгруппу группы G и пусть $|S| = 2^k$. Воспользуемся индукцией по k. При $k = 1$, $|S| = 2$, $S = \langle s \rangle$, где $s^2 = 1$. Возьмем другую силовскую 2-подгруппу S_1 из G со свойством $S_1 \neq S$. Для любой инволюции $y \in S_1$, группа $D = \langle y, s \rangle = \langle d \rangle \lambda \langle s \rangle = \langle d \rangle \lambda \langle y \rangle$ – конечный диэдр. Так как S является силовской 2-подгруппой в G, то таковой она будет и в D, следовательно, $\langle d \rangle$ – подгруппа нечетного порядка и для некоторого $x \in \langle d \rangle$, $s = y^x \in S_1^x$. Последнее означает, что $S \subseteq S_1^y$, а так как S – силовская 2-подгруппа в G, то $S = S_1^y$. Итак, для $k = 1$ утверждение леммы доказано. Рассмотрим случай $k > 1$. Пусть, как и выше, S_1 – некоторая силовская 2-подгруппа в G и $S_1 \neq S$. Пусть $s \in Z(S)$, $|s| = 2$ и x – произвольная инволюция из S_1. Группа $P = \langle x, s \rangle = \langle d \rangle \lambda \langle s \rangle$ – конечная группа диэдра и либо $s = x^y$ для некоторого $x \in \langle d \rangle$ и $S \cap S_1^y \neq 1$, либо $\langle d \rangle$ содержит инволюцию $\upsilon \in C_G(s) \cap C_G(y)$. В факторгруппе $C_G(s)/\langle s \rangle$ все силовские 2-подгруппы конечны и сопряжены (индуктивное предположение), и, следовательно, можно считать, что $\upsilon \in S$, для некоторого $y \in G$.

Пусть S_2 силовская 2-подгруппа, содержащая $\langle \upsilon \rangle \times \langle x \rangle$. Очевидно, $\upsilon \in S_2 \cap S$. Если $S_2 = (S^y)^g$ для некоторого $g \in G$, то, очевидно, $\upsilon \in S_1 \cap S^{yg} \neq 1$. Если же для любого $g \in G$ выполняется неравенство $S_2 \neq (S^y)^g$, то возьмем в качестве S_1 группу S_2. Таким образом, можно считать, что в множестве всех несопряженных с S силовских 2-подгрупп найдется такая, мы ее обозначим через S_1, что $S_1 \cap S \neq 1$. Более того, используя конечность S, можно считать, что пересечение $D = S_1 \cap S$ – максимально возможное по порядку для любой другой силовской 2-подгруппы X, несопряженной с S $|X \cap S| \leq |D|$. Из всех пересечений указанного вида выберем максимальное по порядку, т. е. $D = S \cap S_1^y$ и для любого $y \in G$ $|S \cap S_1^y| \leq |D|$. Используя нормализаторное условие в 2-группах, выбираем элементы $x_1 \in S(S \cap S_1)$ и $y_1 \in S_1 \setminus (S \cap S_1)$ со свойством $x_1^2 \in D$, $y_1^2 \in D$ $\langle x_1, y_1 \rangle \in N(D)$. Группа $L = \langle D, x_1, y_1 \rangle$ конечна и в ней силовские 2-подгруппы сопряжены. Пусть

$$\langle D, x_1 \rangle \subset S_2 \subset Syl_2 L,$$
$$\langle D, y_1 \rangle \subset S_3 \subset Syl_2 L.$$

Поскольку $|\langle D, x_1 \rangle| > |D|$, то для некоторого D справедливо включение $S_2^g \subset S$. Так как L конечна, то $S_2 = S_3^h$ для некоторого $h \in L$. Отсюда $S_3^{hg} \subset S$ и $S_3 \subset S^{g^{-1}h^{-1}}$, т. е. $\langle D, y_1 \rangle \subset S^{g^{-1}h-1} \cap S_1$ или $\langle D, y_1 \rangle^{hy} \subset S \cap S_1^{hg}$, но $|\langle D, y_1 \rangle|^{hy} > |D|$. Последнее означает, что S и S_1^{hg} сопряжены, а значит, S и S_1 также сопряжены. Противоречие с выбором S_1. Лемма доказана.

Лемма 2. Группа Шункова, насыщенная группами диэдра, обладает периодической частью, которая является (локально) конечным диэдром.

Доказательство. Возьмем $1 \neq b \in G$ и $|b| = p > 2$, где p простое число. Конечная группа $\langle b, b^x \rangle$ лежит в конечном диэдре из G и $\langle b \rangle = \langle b^x \rangle$. Следовательно, все элементы из G, имеющие простой порядок $\neq 2$, образуют в G нормальную (локально) циклическую подгруппу N_1. Фактор-группа $\overline{G_1} = G / \overline{N_1}$ является группой Шункова и насыщена группами диэдра. Относительно группы G_1 повторим рассуждения, проведенные выше для G. Подгруппу из $\overline{G_1}$, порожденную всеми элементами простых порядков $\neq 2$, обозначим N_2. Она локально циклическая и нормальна в G_1. Положим, что $\overline{G_2} = \overline{G_1} / \overline{N_2}$ – группа Шункова и насыщена группами диэдра. Действуя индуктивно, строим цепочку подгрупп

$$N_1 \subset N_2 \subset \ldots \subset N_k \subset \ldots,$$

где N_k – полный прообраз N_k в G. Положим $N = \cup N_k$. Фактор-группа $\overline{G} = G / N$ является группой Шункова. Так как N локально конечна, то $\overline{G}$ насыщена группами диэдра и состоит из 2-элементов и элементов бесконечного порядка.

Положим $G = \overline{G}$. Пусть $b \in G$, $|b| = 4$, $a \in \langle b \rangle$ и $a^2 = 1$. Для произвольной инволюции $x \in G \langle x, a \rangle = \langle d \rangle \lambda \langle x \rangle = \langle d \rangle \lambda \langle a \rangle$ – конечный диэдр. Если $|\langle d \rangle > 2$, то $\langle b, d_1 \rangle$ – конечна, $(d_1 \in \langle d \rangle, |d_1| = 4)$ и яв-

ляется подгруппой конечного диэдра из G, что невозможно, так как $\langle d_1\rangle = 4$. Итак, $|d| = 2$, что означает перестановочность a и x, в частности, перестановочны a и a^g для любого $g \in G$. Из последнего вытекает конечность $\langle b, b^G\rangle$ (свойство группы Шункова). По условию насыщенности $\langle b, b^G\rangle$ лежит в конечном диэдре из G, что возможно только в случае $\langle b\rangle = \langle b^g\rangle$. Таким образом, $\langle b\rangle \lhd G$. Пусть теперь $\langle b_1\rangle \neq \langle b_2\rangle$ и $|b_1| = |b_2| = 4$. По только что доказанному $\langle b_1\rangle \lhd G$ и $\langle b_2\rangle \lhd G$. Следовательно, $\langle b_1\rangle\langle b_2\rangle$ – конечная нормальная подгруппа в G, которая по условию насыщенности является подгруппой конечного диэдра из G, т. е. $\langle b_1\rangle = \langle b_2\rangle$, что противоречит нашему предположению. Итак, G содержит единственную подгруппу порядка 4.

Возьмем инволюцию $t \in G/N$. Пусть $x \in G$ и $t^x \neq t$ и группа $T = \langle t, t^x\rangle$ – конечный диэдр. Группа $M = NT$ локально конечна и насыщена группами диэдра. Следовательно, $M = L\lambda\langle t\rangle = L\lambda\langle t^x\rangle$. Последнее означает, что в фактор-группе $\overline{G} = G/N$ инволюции t и t^x перестановочны. Этим доказано, что G обладает периодической частью T, которая является 2-группой. По теореме Шмидта ее полный прообраз T является периодической частью группы G. Лемма доказана.

Лемма 3. Все инволюции из G сопряжены.

Доказательство. Пусть x, y – две различные инволюции из G. По условию насыщенности $\langle x, y\rangle \subset L \subset G$, где $L \cong L_2(K_\alpha)$. Хорошо известно, что в $L_2(K_\alpha)$ все инволюции сопряжены [2]. Следовательно, для некоторого $g \in L, x = y^g$. Лемма доказана.

Лемма 4. Если S – конечная группа, то все силовские 2-подгруппы из G сопряжены и S – одного из следующих типов:

1) S – группа диэдра;

2) S – элементарная абелева группа и $|S| > 4$.

Доказательство. То, что все силовские 2-подгруппы группы G конечны и сопряжены, вытекает из [4]. По условию насыщенности $S \subset L \subset G$ и $L \cong L_2(K_\alpha)$. По [3, с. 9–10], S либо типа 1, либо типа 2. Лемма доказана.

Лемма 5. Если S – бесконечная группа, то все силовские 2-подгруппы из G сопряжены и S – одного из следующих типов:

1) $S = \tilde{S}\lambda\langle t\rangle$, где $\tilde{S}$ – квазициклическая 2-группа, $t^2 = 1$ и $s^t = s^{-1}$ для любого $s \in \tilde{S}$;

2) S – бесконечная элементарная абелева группа.

Доказательство. Предположим вначале, что в G нет элементов порядка 4. Тогда в G любая 2-подгруппа, в частности S, элементарная абелева. Пусть S_1 – другая силовская 2-подгруппа группы G. Возьмем инволюцию $x \in S$ и инволюцию $y \in S_1$. По условию насыщенности $\langle x, y\rangle \subset R \cong L_2(K_\alpha)$. Следовательно, $x = y^g$ для некоторого $g \in R$ и $x \in S \cap S_1^g$. Пусть $S \neq S_1^g$. Возьмем инволюцию $v \in S \setminus S \cap S_1^g$ и инволюцию $S \in S_1^g \setminus S \cap S_1^g$. По условию насыщенности конечная группа $\langle x, v, w\rangle \subset L \cong L_2(K_\beta)$ и $\langle x, v, w\rangle \subset C_L(x)$. Рассмотрим случай, когда K_β – конечное поле нечетной характеристики.

Тогда $K_1 = \langle x\rangle \times \langle v\rangle$ и $K_2 = \langle x\rangle \times \langle w\rangle$ являются силовскими 2-подгруппами группы L и сопряжены в ней при помощи некоторого элемента $b \in L, K_1^b = K_2$. Таким образом, $|S \cap S_1^{gb^{-1}}| \geq 4$. Предположим, что $S \neq S_1^{gb-1}$. Для любых инволюций $t \in S \setminus S \cap S_1^{gb^{-1}}$ и $z \in S_1^{gb^{-1}} \setminus S \cap S_1^{gb^{-1}}$ группа $\langle K_1, t, z\rangle$ конечна и по условию насыщенности группа $\langle K_1, t, z\rangle \subset N \cong L_2(K_\gamma)$. Так как $K_1 \times \langle t\rangle$ – элементарная абелева группа порядка 8, то K_γ – конечное поле характеристики 2. Но тогда $\langle K_1, t, z\rangle \subset M \in Syl_2 N$, M – элементарная абелева группа и инволюции t, z перестановочны. Последнее означает поэлементную перестановочность групп S и $S_1^{gb^{-1}}$. Так как обе они являются силовскими 2-подгруппами из G, то $S = SS_1^{gb^{-1}} = S_1^{gb^{-1}}$. Рассмотрим случай, когда K_β имеет характеристику 2. Здесь, рассуждая, как и для группы N, снова получаем поэлементную перестановочность групп S и S_1^g, что влечет равенство $S = S_1^g$. Итак, если G не содержит элементов порядка 4, то S типа 4 и все силовские 2-подгруппы из G сопряжены.

Предположим теперь, что G содержит элемент порядка 4. Покажем, что в этом случае S так же содержит элемент порядка 4. Предположим обратное. Пусть a – фиксированная инволюция из S и $a \in \langle d\rangle \not\subset S$, где $|d| = 4$ (лемма 3). По условию насыщенности, конечная группа $\langle d, z\rangle$, где z – произвольная инволюция из S, отличная от a, лежит в некоторой $L \cong L_2(K_\alpha)$, где K_α – конечное поле нечетной характеристики $(|d| = 4)$. По [3] (a) – конечная группа диэдра. Но тогда $d^z = d^{-1}$ и группа $\langle d\rangle S$ является 2-группой. Так как S – силовская 2-подгруппа группы G, то $\langle d\rangle S = S$, т. е. $\langle d\rangle \subset S$. Противоречие с выбором d.

Итак, без ограничения общности можно считать, что $\langle d\rangle \subset S$. В этом случае S насыщена группами диэдра, $Z(S)=\langle a\rangle$ и, по [5, лемма 15], $S=\tilde{S}\lambda\langle t\rangle$, где S – квазициклическая 2-группа, $t^2=1$ и для любого $s\in\tilde{S}$, $s^t=s^{-1}$.

Докажем сопряженность силовских 2-подгрупп для нашего случая. Пусть $S_1, S_2 \in Syl_2 G$. По доказанному выше, $S_1=\tilde{S}\lambda\langle v\rangle$, $S_2=\tilde{S}\lambda\langle w\rangle$, где S_1, S_2 – квазициклические 2-группы, $v^2=w^2=1$ и $S_1^v=S_1^{-1}$, $S_1^w=S_2^{-1}$ для любых $S_1\in\tilde{S}_1$ и $S_2\in\tilde{S}_2$. Пусть i,j – инволюции из S_1 и S_2 соответственно. Так как $\langle i,j\rangle\subset K\subset G$ и $K\cong L_2(K_\alpha)$, то для некоторого $x\in K$, $i=j^x$ и, следовательно, $1\neq i\in\tilde{S}_1\cap\tilde{S}_2^x$. Но тогда $\tilde{S}_1\cap\tilde{S}_2^x$. Положим $H=\tilde{S}_1\cap\tilde{S}_2^x$. Тогда $S_1=H\lambda\langle v\rangle$, $S_2^x=H\lambda\langle w\rangle$, силовская 2-подгруппа в $\bar{N}=\bar{N}_G(H)/H$ конечна и имеет порядок 2. Следовательно, для некоторого $\bar{g}\in\bar{N}$, $(wH)^{\bar{g}}=tH$. Пусть $\bar{g}=gH$, тогда очевидно $S_2^{xg^{-1}}=S_1$ и лемма доказана.

Лемма 6. Если $C_G(a)$ содержит конечное число элементов конечного порядка, теорема 1 верна.

Доказательство. Если $C_G(a)$ содержит конечное число элементов конечного порядка, то, по теореме Дицмана, $C_G(a)$ обладает периодической частью $T(C_G(a))=T_a$ и либо $T_a=\langle b\rangle\lambda\langle t\rangle$, либо $T_a=S_0$ – элементарная абелева группа, где S_0 типа 2 из леммы 4. В этой ситуации G так же содержит конечное число элементов конечного порядка. Так как в противном случае, по теореме А. К. Шлёпкина, в G есть бесконечная локально конечная подгруппа M такая, что $|L|>m$, где m – произвольное число. Ясно, что в этом случае $|T_a|$ так же может быть сколь угодно большим, чем $|\langle b\rangle\times\langle t\rangle|$ и $|S_0|$. Лемма доказана.

Лемма 7. Если $C_G(a)$ содержит бесконечное число элементов конечного порядка, теорема 1 верна.

Доказательство. Пусть K – конечная подгруппа из C. По условию насыщенности, $K\subset L\simeq L_2(K_\alpha)$ и $K\subset C_L(a)$. В данном случае либо все $C_L(K)$ – конечные группы диэдра, либо элементарные абелевы 2-группы (леммы 4, 5). В этом случае периодическая часть T_a является либо локально конечным диэдром, либо бесконечной элементарной абелевой 2-группой. Обе эти структуры не могут существовать одновременно и G обладает периодической частью, изоморфной $L_2(Q)$ для подходящего локально конечного поля Q. Лемма доказана.

Лемма 8. G обладает локально конечной простой подгруппой L такой, что $C_G(a)\subset L$ и $L\cong L_2(P)$, где P – локально конечное поле нечетной характеристики p.

Доказательство. Как следует из леммы 6, $C_G(a)$ представима в виде объединения возрастающей цепочки конечных подгрупп диэдра

$$D_1\subset\ldots\subset D_n\subset\ldots, \qquad (1)$$

причем без ограничения общности можно считать, что $|D_n|>4$ и каждая из подгрупп D_n совпадает с централизатором инволюции a в некоторой простой подгруппе L_n из G, где $L_n\cong L_2(K_\alpha)$, причем K_α – конечное поле нечетной характеристики. Таким образом, $D_n\subset L_n$, $D_n\subset C_{L_n}(a)$ и цепочке (1) поставлена в соответствие последовательность

$$L_1,\ldots,L_n,\ldots \qquad (2)$$

конечных простых подгрупп из G.

Далее, $D_n=C_n\lambda\langle t\rangle$, где C_n – циклическая группа. По [3, с. 9–10], инволюции a и t сопряжены в L_n, в частности, подгруппа $C_{L_n}(a)=D_n$ сопряжена в L_n с подгруппой $T_n=C_{L_n}(t)$. По лемме 6, подгруппа C_n в $C_G(a)$ однозначно определена своим порядком $m_n=|C_n|$; то же самое верно для подгруппы V_n, где V_n – однозначно определяемая циклическая подгруппа порядка $m_n>2$ из $T_n=V_n\lambda\langle a\rangle\subset C_G(t)$. Ввиду сопряженности инволюций a и t в G и однозначной определимости циклической подгруппы V_n в G своим порядком M_n (лемма 6), подгруппы T_n так же, как и подгруппы D_n, составляют цепочку

$$T_1\subset\ldots T_n\subset\ldots. \qquad (3)$$

В силу [3, с. 9–10], имеем $L_n=\langle T_n,D_n\rangle$. Из (1), (3) вытекает, что последовательность (2) на самом деле составляет цепочку

$$L_1\subset\ldots L_n\subset\ldots. \qquad (4)$$

Пусть $L=\bigcup_{n=1}^{\infty}L_n$. По построению $C_G(a)\subset L$. По [6], L – локально конечная простая группа, изоморфная $L_2(P)$, где P – локально конечное поле характеристики p. Лемма доказана.

Лемма 9. Пусть L – подгруппа из формулировки предыдущей леммы 5. Тогда периодическая часть $T(G)=L$.

Доказательство. Предположим, что $L\neq G$. Покажем, что L – сильно вложенная подгруппа в G.

Для этого достаточно показать, что для любого $g \in G \setminus L$ подгруппа $L \cap L^g$ не содержит инволюций.

Пусть w – инволюция из $L \cap L^g$, где $w = v^g$, причем $v \in L$. Все инволюции в L сопряжены [3, с. 9–10], поэтому $v^{gb} = v$ для некоторого элемента $b \in L$. Тогда $gb \in C_G(v)$, и так как по леммам 5, 6 $C_G(v) \subset L$, то и $g \in L$, вопреки выбору элемента g. Значит, для любого элемента $g \in G \setminus L$ подгруппа $L \cap L^g$ не содержит инволюций, $N_G(L) = L$, L сильно вложена в G.

По [1], G – простая группа. Следовательно, в $G \setminus L$ найдется инволюция v. Пусть w – произвольная инволюция из L. Так как G – периодическая группа, то группа $K = \langle v, w \rangle$ конечна и по условию насыщенности $K \subset M \subset G$, где $M \cong L_2(K_\alpha)$ и K_α – конечное поле нечетной характеристики. Положим $H = M \cap L$ и пусть z – произвольная инволюция из H, а $g \in M$. Как показано выше, из z следует, что $g \in H$. Следовательно, подгруппа H сильно вложена в M. Тогда, по теореме Бендера (4.24, [7]), M – простая группа Шевалле характеристики 2 лиева ранга 1. Что возможно только в случае $M \cong L_2(2^2) \cong L_2(5)$, H совпадает с нормализатором силовской 2-подгруппы из M и имеет порядок 12. Другими словами $H \cong A_4$.

Пусть теперь d – элемент порядка три из H, x – инволюция из $M \setminus H$, инвертирующая d, y – инволюция из $L \setminus M$, инвертирующая d [3, с. 9–10]. Так как G – периодическая группа, то группа $R = \langle d, x, y \rangle$ конечна и по условию насыщенности $R \subset M_1 \subset G$, где $M_1 \cong L_2(K_\alpha)$ и K_α – конечное поле нечетной характеристики. Положим $H_1 = M_1 \cap L$. Так как $y \in H_1$, то H_1 – сильно вложенная подгруппа в $M_1 \cong L_2(5) \cong L_2(2^2)$ и $H_1 \cong A_4$. Последнее невозможно, так как в этом случае A_4 содержит инволюцию, инвертирующую элемент порядка три. Противоречие со строением A_4.

Итак, $G \setminus L$ не содержит инволюций, что эквивалентно (при условии $L \neq G$) существованию нетривиального нормального делителя группы G. Однако G, как отмечалось выше, простая группа. Противоречие. Теорема доказана.

Доказательство теоремы 2. Если R содержит только $SL_2(K_\alpha)$ и K_α – конечное поле характеристики 2, то все доказано в силу теоремы 1, так как в этом случае $SL_2(K_\alpha) = L_2(K_\alpha)$. Следовательно, R содержит $SL_2(K_\beta)$, K_β – конечное поле нечетной характеристики и $|K_\alpha| > 5$. Обозначим через z инволюцию из $SL_2(K_\beta)$. Для любого $g \in D$ группа $D\langle z, z^g \rangle$ конечна. По условию насыщенности $D \subset K \subset G$, и либо $K \cong SL_2(K_\gamma)$ и K_γ – конечное поле нечетной характеристики, либо $K \cong SL_2(K_\delta)$ и K_δ – конечное поле характеристики 2. Покажем, что ситуация $K \cong SL_2(K_\delta)$ невозможна. Действительно, в этом случае в K найдется инволюция $v \neq z$ и $vz = zv$. Так как G – группа Шункова, то подгруппа $\langle h, v \rangle$ конечна, здесь h – такой элемент из $SL_2(K_\beta)$, что $h^2 = z$ и $\langle h, v \rangle \in C_G(z)$. По условию насыщенности, $\langle h, v \rangle \subset C_K(z) \subset K \in R$, что невозможно по [3, с. 9–10]. Итак, G содержит единственную инволюцию z и $Z(G) = \langle z \rangle$. Нетрудно видеть, что фактор-группа $\tilde{G} = G / \langle z \rangle$ – группа Шункова и удовлетворяет всем требованиям теоремы 1. Следовательно $T(G) \simeq L_2(P)$ для подходящего локально конечного поля P. Пусть $P_1 \subset \ldots \subset P_n \subset \ldots$ – цепочка вложенных друг в друга конечных подполей из P таких, что $P = \bigcup_{n=1}^{\infty} P_n$; $T(\bar{G}_1) \subset \ldots \subset T(\bar{G}_n) \subset \ldots$ – цепочка вложенных друг в друга конечных подгрупп групп G таких, что $T(\bar{G}_n) \simeq L_2(P_n)$, где $n = 1, 2, \ldots$. Обозначим через $T(G_n)$ полный прообраз $T(G_n)$ в G. Из условия насыщенности вытекает, что $T(G_n) \simeq SL_2(P_n)$. Так как $T(G_1) \subset \ldots \subset T(G_n) \subset \ldots$ и $T(G) = \bigcup_{n=1}^{\infty} T(G_n)$, то $T(G) \simeq SL_2(P)$. Теорема доказана.

Библиографические ссылки

1. Шлёпкин А. К. Сопряженно бипримитивно конечные группы, содержащие конечные неразрешимые подгруппы // III Междунар. конф. по алгебре ; 23–28 авг. 1993 г. : сб. тез. Красноярск, 1993. С. 369.

2. Рубашкин А. Г., Филиппов К. А. О периодических группах, насыщенных $L_2(p^n)$ // Сиб. мат. журн. 2005. № 6. С. 1388–1392.

3. Бусаркин В. М., Горчаков Ю. М. Конечные расщепляемые группы. М. : Наука, 1968.

4. Шунков В. П. Об абелевых подгруппах в бипримитивно конечных группах // Алгебра и логика. 1973. Т. 12. № 5. С. 603–614.

5. Шлёпкин А. К., Рубашкин А. Г. Об одном классе периодических групп // Алгебра и логика. 2005. Т. 44. № 1. С. 65–71.

6. Беляев В. В. Локально конечные группы Шевалле // Исследования по теории групп / УНЦ АН СССР. Свердловск, 1984. С. 39–50.

7. Горенстейн Д. Конечные простые группы. М. : Мир, 1985.

K. A. Philippov

ABOUT THE PERIODIC PART OF THE SHUNKOV'S GROUP, SATURATED WITH $L_2(p^n)$

Let I be a set of indices, K_α – a finite field for any $\alpha \in I$, $M = \{L_2(K_\alpha) \mid \alpha \in I\}$ and $N = \{SL_2(K_\alpha) \mid \alpha \in I\}$. The authors established that the Shunkov's group, saturated with groups from the set M (consequently N), has a periodic part $T(G)$, isomorphic part $L_2(P)$ (consequently $SL_2(P)$), for a suitable local finite field P.

Keywords: saturated, the Shunkov's group, periodic part.

© Филиппов К. А., 2012

Раздел
2

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

УДК 629.78.018

А. Ю. Вшивков, Е. Н. Головенкин, С. А. Крат, С. А. Ганенко

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ЭЛЕКТРОТЕРМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЮБИЛЕЙНЫЙ-2» (МиР)

Представлена методология, позволяющая качественно проводить комплекс электротермовакуумных испытаний с применением источников инфракрасного излучения для поддержания граничных квалификационных температур космических аппаратов (КА). Проведенные испытания показали эффективность использования имитаторов теплового потока раздельного нагрева.

Ключевые слова: электротермовакуумные испытания, имитатор теплового потока, термобарокамера, обезгаживание, термоциклирование.

Из года в год все более сложные задачи решаются с помощью автоматических и пилотируемых КА. Усложняются конструкции КА, при этом особое значение приобретает проблема обеспечения надежности КА, которая во многом определяется его тепловым режимом. Очевидно, что без качественного и всестороннего экспериментального исследования теплового режима спутников в условиях, близких к эксплуатационным, невозможно создать высоконадежные аппараты.

При создании КА в программе комплексных испытаний закладывается этап наземной тепловой отработки, одной из целей которого является проведение электротермовакуумных испытаний (ЭТВИ) в условиях, максимально приближенных к условиям штатной эксплуатации [1].

Компоновочная сложность, многоэлементность, разобщенность и разнохарактерность тепловых требований, наличие развитых пространственных, особенно раскрываемых и развертываемых конструкций характерны для современных космических аппаратов. В этих условиях проблема теплового обеспечения внутри термобарокамеры при проведении ЭТВИ является едва ли не определяющей.

Различное оборудование имеет разные температурные диапазоны и разные рабочие режимы, вынуждающие в жестких условиях четко поддерживать тепловой режим для приборов, расположенных на различных частях сотовых панелей. Включение штатного оборудования, особенно высоковольтного, также предъявляет особые требования к давлению внутри КА. А при наличии газовой составляющей в порах металла, электрорадиоизделий и экранно-вакуумной тепловой изоляции необходимо предусматривать предварительный процесс обезгаживания для исключения электронной волны – стримера – в случае возникновения вакуума низкой степени, что и может произойти, если будет осуществлена подача питания на борт необезгаженного аппарата.

При разработке методики наземных электротермовакуумных испытаний необходимо, как минимум, решить три задачи:

– выбрать технические средства для проведения электротермовакуумных испытаний;

– определить минимальную продолжительность электротермовакуумных испытаний;

– определить минимальную продолжительность режима обезгаживания.

Без решения данных задач всегда имеется опасность возможной потери аппарата на этапах отработки либо большой длительности электротермовакуумных испытаний, что может все испытания, вследствие высоких технических и экономических затрат, завести в тупик.

Чтобы понять, каким образом решать данный спектр задач, нужно знать, что такое электротермовакуумные испытания и какие основные цели при этом решаются.

При проведении ЭТВИ происходит проверка работоспособности оборудования в условиях вакуума и верификация исходящего сигнала бортовой аппаратуры при термоциклировании КА (удержание в гарантированных диапазонах бортовой и служебной аппаратуры в критичных для нее условиях функционирования по температуре) [2].

Основные цели испытаний:

– отработка электрической стыковки приборов и систем КА, а также КА и комплексно-проверочной аппаратуры (КПА);

– отработка логики работы КА и бортовой аппаратуры в соответствии с программой штатной работы КА;

– оценка взаимовлияния бортовых систем;

– отработка методики проведения ЭТВИ КА;

– отработка технической и эксплуатационной документации и программного обеспечения;

– выдача заключения о допуске КА к дальнейшим испытаниям.

Достижение данных целей невозможно без применения следующих основных систем испытательного комплекса: термобарокамеры; системы вакуумной откачки; криогенной системы; панели инфракрасного потока; системы измерения параметров изделия и оснастки; системы управления изделием, оснасткой и стендовыми системами [3].

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

В термобарокамере объемом 120 м^3 (ТБК-120) в 2011 г. были проведены электротермовакуумные испытания малого космического аппарата (МКА) «Юбилейный-2» (МиР).

Испытания проводились при давлении в камере 5×10^{-5} мм рт. ст. Для обеспечения заданного давления применялась система вакуумной откачки камеры, состоящая из двух насосов НВЗ-300, одного насоса ДВН-1500 и одного высоковакуумного насоса ТМНГ-10 000. Контролировалось давление в камере с помощью преобразователя манометрическим термопарным ПМИ2.

Низкая температура в камере обеспечивалась криогенными экранами камеры, имеющими коэффициенты A_S = 0,95, ε = 0,91, с возможностью максимального охлаждения в процессе испытаний до температуры минус (180 ± 10) °С.

Для обеспечения заданной температуры криогенных экранов камеры была задействована криогенная система камеры. Контролировались температуры криогенных экранов термометрами сопротивления, установленными на их поверхностях (6 параметров) с регистрацией показаний на приборе «УИТ-400».

Для имитации внешних тепловых потоков на КА в камеру ТБК-120 устанавливались панели – имитаторы теплового потока (ИТП). Количество панелей – 6. Для контроля внешних условий и управления панелями ИТП в термобарокамере были установлены 8 образцов-свидетелей с датчиками температуры ДТП1–ДТП8 для захолаживания и отогревания термобарокамеры, т. е. во время отсутствия телеметрической информации со штатного оборудования (рис. 1, 2).

Для контроля температуры целевой аппаратуры были установлены датчики в районе прибора «ДОКА-Б» и астроплаты, а также ряд датчиков для контроля температур сотовых панелей внутри (рис. 3).

В термобарокамере монтировалась кабельная сеть для управления панелями ИТП, а также кабельная сеть системы измерения температурных параметров ДТП1–ДТП8.

При проведении испытаний КА располагался горизонтально таким образом, чтобы тепловые трубы, входящие в состав газорегулируемой тепловой трубы и находящиеся в районе основания прибора «ДОКА-Б», располагались в горизонтальной плоскости.

В процессе испытаний система измерения камеры обеспечивала регистрацию всех задаваемых и контролируемых параметров КА и испытательного оборудования. Погрешность регистрации температурных параметров не превышала ± 0,5 % от их диапазонов измерения.

В процессе проведения всех режимов ЭТВИ управление ИТП осуществлялось по отдельным регулируемым каналам от стабилизированных источников постоянного тока.

Погрешность измерения потребляемых мощностей составляла не более ± 2 %.

На начальном этапе было произведено вакуумирование и захолаживание термобарокамеры. С начала захолаживания камеры регистрировались все параметры КА с дискретностью не реже одного раза в полчаса.

Управляя подачей питания на ИТП, поддерживались температуры образцов-свидетелей и датчиков в районе бортовой аппаратуры. По окончании этапа в камере были обеспечены условия для проведения режима – обезгаживание.

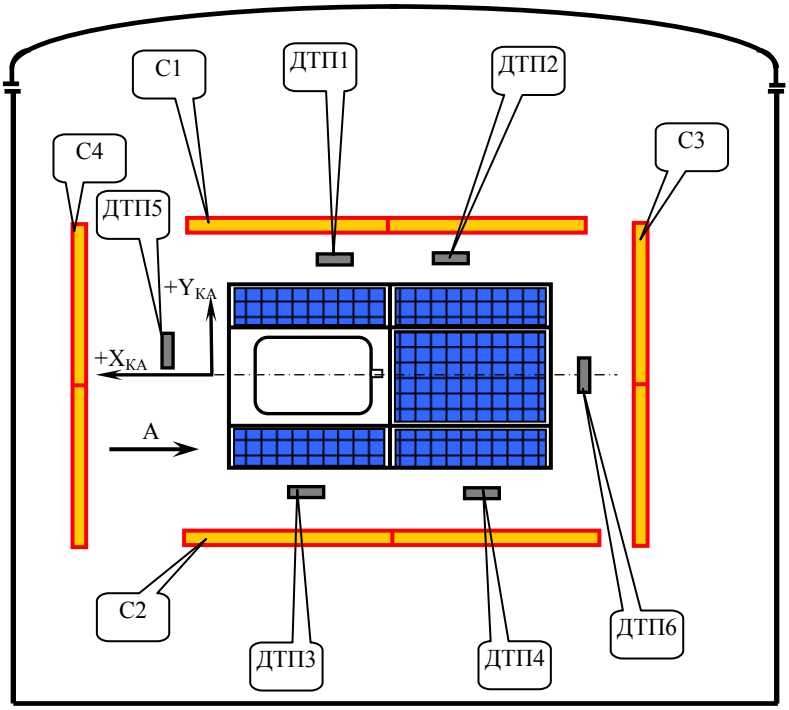


Рис. 1. Общая схема установки ИТП и схема размещения датчиков температуры при проведении ЭТВИ МКА «Юбилейный-2» (МиР)

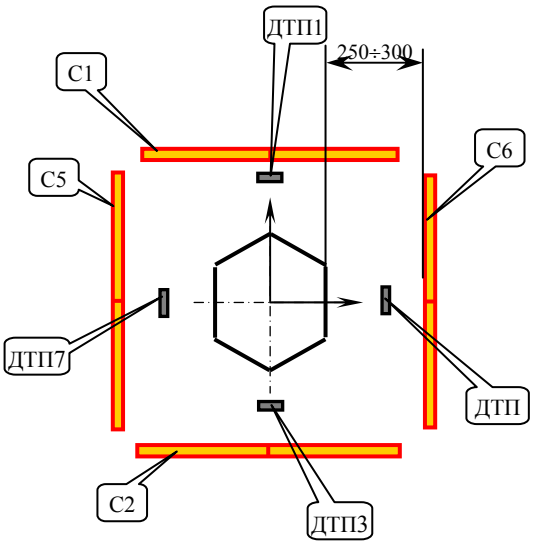


Рис. 2. Установка ИТП и схема размещения датчиков температуры при проведении ЭТВИ МКА «Юбилейный-2» (МиР) (вид сверху)

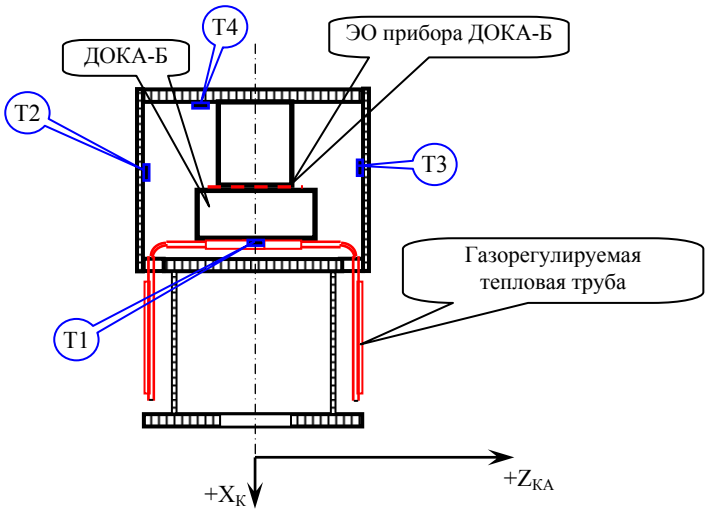


Рис. 3. Схема размещения температурных датчиков внутри корпуса МКА «Юбилейный-2» (МиР)

Ввиду того, что габариты МКА невелики, процесс обезгаживания длился 14 ч, за это время с аппарата были успешно удалены продукты гажения – влага, полициклические аромоуглеводороды (ПАУ) и т. д.

К следующему этапу при проведении испытаний относится термоциклирование целевой аппаратуры аппарата (электрические проверки на верхних и нижних полках температур)

Критерием выхода на полку считалось достижение диапазона температур на датчиках Т1, Т4 (посадочная поверхность аппаратуры ДОКА-Б и астроплата) (рис. 4):

для ДОКА-Б от –10 до 0 ºС для нижней полки (при допустимой минус 20 °С); от 40 до 50 ºС для верхней полки (при допустимой 50 °С);

для астроплаты от –15 до –25 ºС для нижней полки (при допустимой минус 40 °С); от 25 до 35 ºС для верхней полки (при допустимой 50 °С).

На четырех циклах проверок прибора «ДОКА-Б» измеренные значения мощностей находились в заданных пределах и соответствовали техническому заданию на разработку бортовой аппаратуры.

В соответствии с требованиями методологии при проведении ЭТВИ были получены следующие заданные условия:

– на верхней полке 1-го цикла температура в районе посадочного места «ДОКА-Б» составляла 41 °С, минимальная по изделию – 36 °С; на нижней полке 1-го цикла в районе посадочного места «ДОКА-Б» – –3 °С, максимальная по изделию – минус 3 °С;

– на верхней полке 2-го цикла температура в районе посадочного места «ДОКА-Б» – 41 °С, минимальная по изделию – 31 °С; на нижней полке 2-го цикла в районе посадочного места «ДОКА-Б» – минус 3 °С, максимальная по изделию – 2 °С;

– на верхней полке 3-го цикла температура в районе посадочного места «ДОКА-Б» – 40 °С, минимальная по изделию – 38 °С; на нижней полке 3-го цикла в районе посадочного места «ДОКА-Б» – минус 3 °С, максимальная по изделию – 2 °С;

– на верхней полке 4-го цикла температура в районе посадочного места «ДОКА-Б» – 43 °С, минимальная по изделию – 34 °С; на нижней полке 4-го цикла в районе посадочного места «ДОКА-Б» – минус 3 °С, максимальная по изделию – 3 °С.

Во время проведения электротермовакуумных испытаний были проведены проверки всех подсистем и модулей как целевой, так и служебной аппаратуры. По результатам проверок было выдано заключение о готовности МКА «Юбилейный-2» (МиР) к проведению испытаний на вибростенде и подготовке к отправке на полигон.

Анализ результатов данных показал, что выбранная методология проведения электротермовакуумных испытаний полностью удовлетворяет требованиям постановки современного эксперимента, о чем свидетельствуют результаты (см. рис. 4).

На сегодняшний день ведется работа по автоматизации средств обеспечения управлением имитаторами теплового потока, которые смогут в дальнейшем сами определять то количество мощности, которое нужно подать на тот или иной участок аппарата, чтобы достичь заданной температуры. Таким образом, мы сможем либо равномерно нагреть нужную сторону КА, что особенно актуально при проведении термобалансных испытаний в части имитации внешнего солнечного потока, либо получить неравномерное тепловое поле по отдельным элементам космического аппарата, в соответствии с квалификационными температурами функционирования бортовой и служебной аппаратуры, что актуально при проведении электротермовакуумных испытаний, где нужно максимально приблизить работу аппаратуры к критическим для нее значениям.

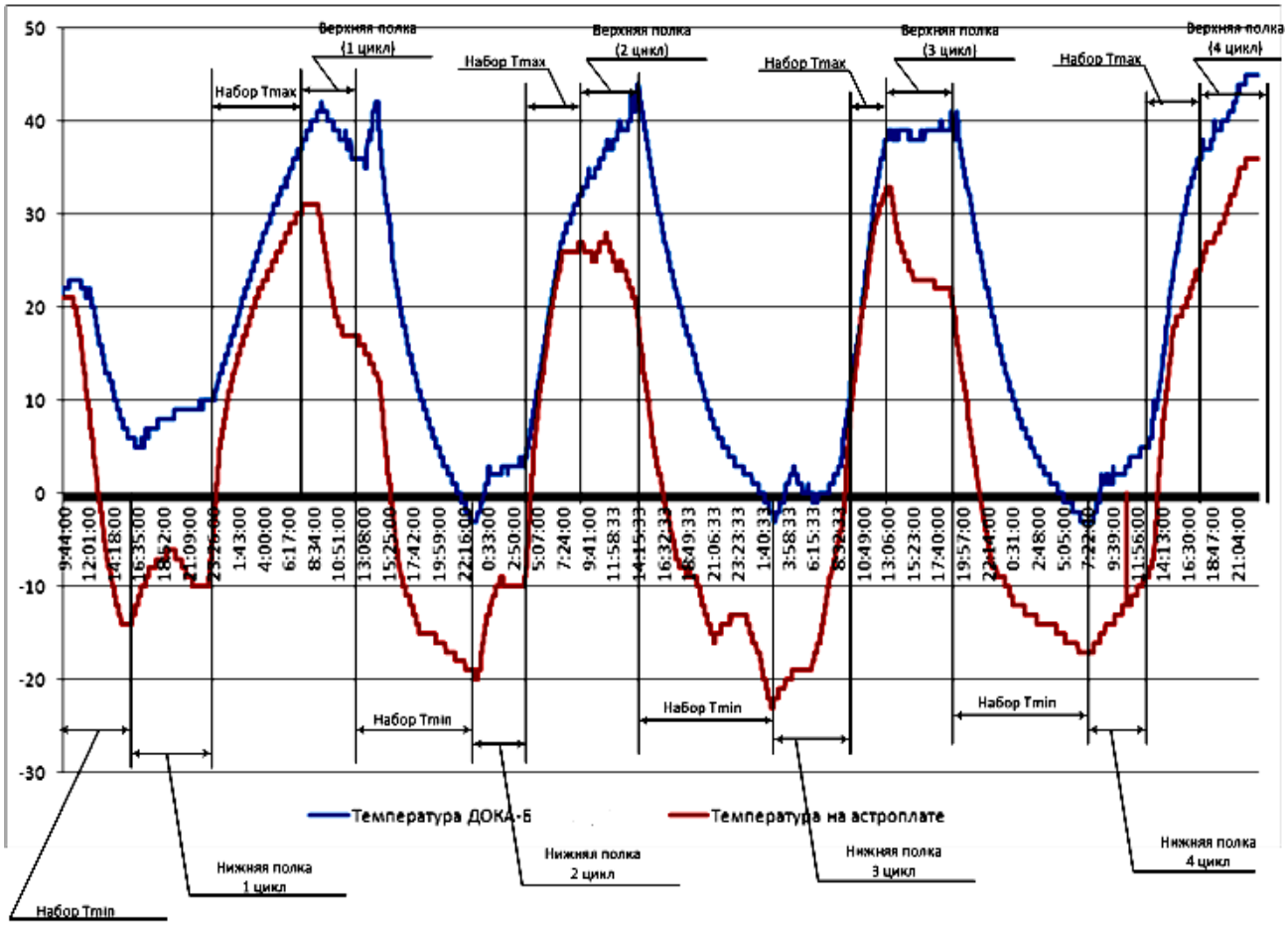


Рис. 4. График изменения температур (ДОКА-Б и астроплата) при проведении ЭТВИ МКА «Юбилейный-2» (МиР)

Библиографические ссылки

1 Нестационарные тепловые режимы космических аппаратов спутниковых систем : монография / М. В. Краев [и др.] ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

2 Методика проведения электротермовакуумных испытаний на примере изделия «ГЛОНАСС-К» / А. Ю. Вшивков [и др.] // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем : материалы Всерос. науч.-техн. конф. молодых спец. ОАО «ИСС», посвящ. 50-летию полета в космос Ю. А. Гагарина. Железногорск, 2011. С. 145–146.

3 Методология имитации внешних воздействий при проведении комплекса термовакуумных испытаний на примере непилотируемого навигационного космического летательного аппарата / А. Ю. Вшивков [и др.] // Новые материалы и технологии в ракетно-космической технике : материалы I Всерос. молодежной конф. М., 2011. С. 91–96.

A. Yu. Vshivkov, E. N. Golovenkin, S. A. Krat, S. A. Ganenko

DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF ELECTRIC THERMAL VACUUM TESTING FOR TEMPERATURE CONTROL OF SMALL SPACECRAFT JUBELEE-2 (MIR)

The authors present a methodology for quality electric thermal vacuum testing complex, with usage of sources of infrared radiation in order to maintain the boundary qualification temperatures of spacecrafts. The tests demonstrated efficiency of simulators of two-part heat flux sources.

Keywords: electric thermal vacuum testing, heat flux simulator, vacuum chamber, degassing, thermal cycling.

© Вшивков А. Ю., Головенкин Е. Н., Крат С. А., Ганенко С. А., 2012

УДК 621.396.67

Г. В. Двирный, С. П. Ереско

НАЗЕМНАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОТРАБОТКА АНТЕНН КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Рассмотрены вопросы построения экспериментально-теоретической методики обеспечения требований к параметрам трансформируемых антенн зонтичного типа.

Ключевые слова: антенна зонтичного типа, радиус кривизны, трансформируемая конструкция, оболочка, частота собственных колебаний, амплитуда.

Анализ известных технических решений исполнения трансформируемых антенн по совокупности их параметров показывает, что практический интерес представляют зеркальные антенны зонтичного типа. Зеркала таких антенн образованы отражающим электромагнитные волны гибким материалом, натянутым на каркас, выполненным из радиальных ребер, закрепленных в центральной ступице (втулке) и складываемых по принципу зонтика. Антенны зонтичного типа отличаются простотой, оперативностью процесса развертывания – свертывания, многократностью использования, устойчивостью конструкции к изменяющимся условиям внешней среды [1].

В составе космического аппарата (КА) на орбите требуется обеспечить электрические характеристики, а проектирование, конструирование и отработку провести с учетом влияния особенностей самой трансформируемой конструкции.

Испытаниям трансформируемых антенн уделено много внимания. Многочисленных отказов на орбите удается избежать за счет обнаружения возможных отказов во время наземной экспериментальной отработки (НЭО). Трансформируемая антенна должна пройти всестороннюю качественную проверку, сводящую к минимуму риски отказов в работе космического аппарата на орбите. Стандартные правила определения объема испытаний, необходимого для трансформируемых антенн, устанавливаются на проектных стадиях разработки. Данный подход к верификации летной матчасти был разработан на основании существующего опыта. Он настоятельно рекомендуется для всей матчасти, так как является необходимым для раскрываемых систем.

Испытания крупногабаритных трансформируемых конструкций представляют собой уникальный метод для конструкций, которые не являются устойчивыми. По этим же причинам испытания необходимы. Из-за большого количества вопросов, относящихся к правильному функционированию раскрываемых систем, они не могут быть полностью решены только аналитическим методом. Важно также знать, каким образом проводить испытания для конструкций, которые не могут поддерживать свой собственный вес.

В процессе НЭО устройств КА решаются следующие задачи:

– квалификация системы на соответствие системы нормативным требованиям по внешним воздействиям;

– подтверждение функционирования и работоспособности системы после (во время) внешних воздействий;

– выявление дефектов сборочных и монтажных операций;

– подтверждение устойчивости технологических процессов;

– выдача заключения о положительных результатах испытаний и допуск к последующему этапу.

Целью испытаний является *подтверждение правильности* заложенных конструктивных решений; прочности несущих элементов конструкции; работоспособности трансформируемых антенн в условиях, приближенных к эксплуатационным; влияния воздействия факторов нагружения на геометрическую форму; *выявление* возможных конструктивных и технологических дефектов; определение коэффициентов вибропередачи в элементах конструкции, усилий срабатывания замков зачековки; моментов сопротивления в шарнирных узлах [2].

Задачи испытаний следующие:

– подтверждение первых собственных частот объекта испытаний в трех направлениях в сложенном состоянии (испытания по определению жесткости);

– подтверждение достаточности несущей способности силовой конструкции;

– проведение испытаний на раскрытие в нормальных условиях;

– подтверждение заданной точности в раскрытом положении в ходе проведения испытаний.

Критериями положительной оценки результатов испытаний являются:

– сохранение целостности объекта испытаний после (во время) воздействия механических нагрузок. Отсутствие механических повреждений;

– соответствие жесткости объекта испытаний техническим требованиям (собственная частота объекта испытаний в сложенном положении, жестко закрепленном по стыку с платформой не ниже чем 40 Гц в продольном направлении и 15–17 Гц в поперечном направлении);

– сохранение заданной зонтичной поверхности конструкции антенны в раскрытом положении в пределах 1,5 мм (отклонение профиля поверхности зеркала от параболоида вращения);

– подтверждение работоспособности механических устройств зачековки и раскрытия при десяти раскрытиях (срабатывание устройства зачековки –

расчековки; срабатывание контактных датчиков; раскрытие конструкции в рабочем положении под действием приводов за определенное время, например, 90…270 с; фиксация антенны в рабочем положении; запас по приводному моменту раскрытия больше трех относительно момента сопротивления раскрытию на всей траектории раскрытия).

Характерной особенностью зонтичных антенн является периодическое (по азимутальной координате) отклонение профиля поверхности зеркала между ребрами от параболоида вращения. Электрические характеристики складной антенны зонтичного типа существенно зависят от степени этого отклонения. Поэтому при моделировании зонтичных антенн на ЭВМ важно знать форму отражающей поверхности между ребрами. Для этого может быть использована теория оболочек.

Рассмотрим влияние растягивающих усилий в срединной поверхности на частоту собственных колебаний. Если статистический прогиб оболочки не мал, по сравнению с ее толщиной, то при вычислении собственных частот нужно учесть растягивающие усилия в срединной поверхности. Наличие этих усилий приводит к увеличению потенциальной энергии и, следовательно, к повышению частоты собственных колебаний. Известен метод С. П. Тимошенко [3] и приближенная оценка влияния растяжения срединной поверхности вследствие изгиба на частоту первого тона круглой защемленной по контуру пластины [4]:

$$\omega_1 = \frac{10,33}{R^2}\sqrt{\frac{D}{m_0}\sqrt{1+1,464\frac{f_{\text{ст}}^2}{h^2}}}, \qquad (1)$$

где $f_{\text{ст}}$ – статический прогиб центра пластины. С увеличением отношения $f_{\text{ст}}/h$ частота собственных колебаний возрастает. По этой же причине частота собственных колебаний будет повышаться с увеличением амплитуды колебаний. Здесь мы имеем дело с нелинейными колебаниями.

Если зонтичную антенну представить по форме в виде пологой сферической оболочки, то известен расчет собственных осесимметричных колебаний. Уравнение колебаний имеют вид [4]

$$\nabla^4\omega + \frac{Eh}{DR^2}\omega + \frac{r_0^4}{D}\rho_0 h\frac{\partial^2\omega}{\partial t^2} = 4\frac{r_0^2}{DR}\left(C_2 + C_4\ln\rho\right), \qquad (2)$$

где R, h, ρ_0 – радиус кривизны, толщина и плотность материла оболочки; r_0 – краевой радиус (радиус контура оболочки); r – расстояние от произвольной точки оболочки до оси симметрии; $\rho = \frac{r}{r_0}$.

Полагая, что колебания совершаются в соответствии с одной из собственных форм $\omega_i(\rho)$, из уравнения (2) получаем

$$\nabla^4\omega_i - k_i^4\omega_i = 4\frac{r_0^2}{DR}\left(C_2 + C_4\ln\rho\right), \qquad (3)$$

$$k_i^4 = \frac{r_0^4}{D}Eh\left(\frac{\rho_0\omega_i^2}{E} - \frac{1}{R^2}\right). \qquad (4)$$

Для оболочки, защемленной по контуру, граничными условиями будут

$$\rho = 1,\ \omega_i = 0,\ \omega_i' = 0,\ \varepsilon_\varphi = 0, \qquad (5)$$

где ε_φ – деформация в окружном направлении.

Ниже приведены результаты решения уравнения (3) при условиях (5). Характеристическое уравнение для определения собственных чисел k_i, с помощью которых находят частоты собственный колебаний, имеет вид

$$\begin{aligned}&\left[J_0(k_i)I_1(k_i) + I_0(k_i)J_1(k_i)\right]\times\\ &\times\left[\frac{R^2h^2k_i^4}{12r_0^4\left(1-\mu^2\right)}+1\right]+\\ &+\frac{1}{1-\mu}\left[\frac{2(1+\mu)_0\,J_1(k_i)I_1(k_i)}{k_i}-\right.\\ &\left.-\left(J_0(k_i)I_1(k_i)+I_0(k_i)J_1(k_i)\right)\right]=0,\end{aligned} \qquad (6)$$

здесь J_0, J_1 – функции Бесселя первого рода, I_0, I_1 – модифицированные функции Бесселя первого рода.

В случае тонкой оболочки с малой степенью пологости $\frac{h}{r_0}\le\frac{1}{30}$, $\frac{H_1}{2r_0}\le\frac{1}{10}$ для основного тона по сравнению с единицей, слагаемым

$$\frac{R^2h^2k_i^4}{12r_0^4\left(1-\mu^2\right)}$$

в уравнении (6) можно пренебречь, и это уравнение упрощается:

$$-J_0(k_i)I_1(k_i) + I_0(k_i)J_1(k_i) + 4\frac{J_1(k_i)I_1(k_i)}{k_i} = 0. \qquad (7)$$

Из равенства (4) получаем формулу для вычисления частоты собственных колебаний:

$$\omega_i^2 = \frac{E}{\rho_0}\left[\frac{1}{R^2} + \frac{k_i^4h^2}{12r_0^4\left(1-\mu^2\right)}\right]. \qquad (8)$$

Уравнение (6) имеет один нулевой корень $k_0 = 0$, которому соответствует низшая безузловая форма колебаний (при колебаниях во всех точках одновременно увеличивается или уменьшается радиус кривизны сферической оболочки). Соответствующая этому корню частота равна

$$\omega^2 = \frac{E}{\rho_0 R^2}. \qquad (9)$$

В трансформируемых конструкциях антенн космических аппаратов одной из основных характеристик является жесткость.

При проектировании и конструировании жесткость определяется теоретически исходя из геометрических характеристик конструкции и материалов, например, по предложенной методике в первом приближении.

При выявлении стержневых элементов с несовершенствами формы, а также при определении устойчивости конструкций рекомендуется использовать ре-

зультаты анализа и совершенствования методик оценки технического состояния элементов стержневых конструкций и их устойчивости, приведенные в работах [5; 6].

Определяется амплитуда и частота собственных колебаний конструкции и сравнивается с требованиями ТЗ.

Однажды сам алгоритм расчета должен быть протестирован, а конструкция трансформируемой антенны квалифицирована на соответствие требованиям ТЗ.

Для этого проводятся испытания, при которых экспериментально определяются амплитуды и частоты колебаний конструкции. Затем находят жесткость. Определяют характеристики на соответствие требованиям ТЗ.

Предлагается в первом приближении по указанной методике определить собственную частоту колебаний зонтичной антенны в раскрытом напряженном состоянии, уточнив необходимые параметры по результатам НЭО: плотность, толщину и др.

Библиографические ссылки

1. Гряник М. В., Ломан В. И. Развертываемые зеркальные антенны зонтичного типа. М. : Радио и связь, 1987.

2. Шатров А. К., Назарова Л. П., Машуков А. В. Механические устройства космических аппаратов. Конструктивные решения и динамические характеристики : учеб. пособие / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006.

3. Тимошенко С. П. Пластинки и оболочки / пер. с англ. В. И. Контовта ; под ред. Г. С. Шапиро. 2-е изд., стереотип. М. : Наука, 1966.

4. Основы строительной механики ракет : учеб. пособие для вузов / Л. И. Балабух, К. С. Колесников, В. С. Зарубин и др. М. : Высш. шк., 1969.

5. Ереско С. П., Алифанов Л. А., Морозов С. В. Анализ методик оценки технического состояния стержневых элементов металлоконструкций с несовершенствами формы // Вестник университетского комплекса / под общ. ред. Н. В. Василенко. Красноярск : ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ. 2006. Вып. 7 (21). С. 3–7.

6. Ереско С. П., Алифанов Л. А., Морозов С. В. О совершенствовании расчетных методик оценки устойчивости при проектировании металлоконструкций // Вестник университетского комплекса / под общ. ред. Н. В. Василенко. Красноярск : ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ. 2006. Вып. 8 (22). С. 190–192.

G. V. Dvirniy, S. P. Eresko

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL GROUND-BASED TESTING OF SPACECRAFT ANTENNAS

In this article the authors consider design aspects of experimental-theoretical procedure, supporting the requisitions to parameters of transforming umbrella-form antennas.

Keywords: umbrella antenna, curve radius, flexible structure, shell, natural frequency, amplitude.

© Двирный Г. В., Ереско С. П., 2012

УДК 532.542:621.67-762:62

М. В. Краев

ТУРБУЛЕНТНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ «ЖИДКОСТЬ–ГАЗ» ПОЛОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ РОТОРНЫХ ГИДРОМАШИН*

На основе представленной картины течения в поле центробежных сил жидкости и газа в межлопаточном канале полуоткрытого рабочего колеса роторной гидромашины выполнен расчет параметров поверхности раздела «жидкость–газ» с анализами устойчивости вращающейся поверхности с экспериментальными данными.

Ключевые слова: рабочее колесо, вращение, вихрь, поверхность, граница раздела, жидкость–газ.

Высокооборотные роторные гидромашины (ГМ) широко применяются в качестве агрегатов подачи различных рабочих тел в энергодвигательных установках летательных аппаратов (ЛА), ротор которых состоит из различных типов рабочих колес, дисков, узлов уплотнений, систем перепусков и т. п. [1].

Вопросам исследования гидродинамики плоскостей вращения роторных гидромашин с частично смоченной торцовой поверхности полуоткрытого рабочего колеса (РК) посвящены работы [2; 3; 4], авторы которых принимают в расчетах, что граница раздела жидкостной и газовой фаз представляют собой размытую цилиндрическую поверхность. Такой подход приводит к существенным ошибкам в расчетах осевых сил ротора агрегата и неопределенности о работоспособности расположенных на валу уплотнительных устройств [5].

Картина течения между вращающимися РК полуоткрытого типа с радиальными лопатками и гладкими корпусами довольно сложна.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. ГК № 231 от 23.04.2010 г.

Жидкость, находящаяся в области каналов РК, подвергается непосредственно силовому воздействию лопаток. При бесконечно большом числе лопаток РК жидкость в полости вращения имеет угловую скорость ω, вращаясь как твердое тело. При одномерном радиальном течении жидкости в каналах РК со скоростью V_R в области границы раздела «жидкость–газ» (рис. 1), на выделенный объем жидкости массой dm действует центробежная сила инерции $dm\omega^2 R$ и сила Кориолиса $dm2V_R$.

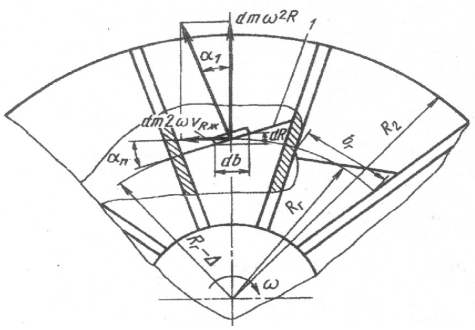


Рис. 1. Схема для определения границы раздела фаз в канале РК

Равнодействующая центробежной силы и силы Кориолиса уравнивается силой давления слоев жидкости, прилегающих к выделенному объему, и поэтому поверхность равного давления в жидкости нормальна к этой равнодействующей. Следовательно

$$\mathrm{tg}\alpha_n = \frac{dR}{db} = \frac{dm2\omega V_R}{dm\omega^2 R}. \qquad (1)$$

Для одномерного расходного течения жидкости на ширине b канала РК уравнение (1) в работе [6] получено в виде величины перекоса Δ поверхности жидкости на границе раздела фаз по ширине канала РК:

$$\Delta = \frac{2b \cdot V_R}{\omega R}, \qquad (2)$$

Наряду с радиальным течением жидкости в каналах РК формируется вихревая структура потока [7], что обусловливает вращательное движение жидкости с осью вращения, направленной по радиусу РК.

Поверхность раздела фаз в канале не совпадает с концентрической цилиндрической поверхностью. Нормаль к этой поверхности составляет с направлением радиуса РК угол α_n (см. рис. 1), обусловленный соотношением перекоса Δ и ширины канала РК. Вращательное движение жидкости в канале с угловой скоростью вихря $\omega_в$ приводит к образованию гребня жидкости (рис. 2). Высота образовавшегося гребня жидкости увеличивается при вращении вихря и достигает наибольшего значения при повороте его на угол $\varphi = 180^\circ$, т. е. когда линия do занимает положение co. Гребень жидкости разрушается – срывается, когда силы инерции его вихревого движения превышает силы вязкости и поверхностного натяжения. Поскольку канал полуоткрытого РК со стороны осевого зазора a открыт, то образовавшийся над поверхностью жидкости гребень может сорваться в направлении осевого зазора a. С увеличением угла φ вероятность срыва увеличивается, так как увеличивается масса жидкости во вращающемся гребне. Такое положение является, на наш взгляд, причиной неустойчивости поверхности жидкости.

Будем считать, что поверхности, ограничивающие гребень, линейны и сходятся в центре вращения o, а расстояние ol от вершины гребня до центра вращения – величина постоянная.

Неустойчивость поверхности вращающегося жидкостного кольца и объем срываемой жидкости в реальных условиях будет определяться соотношением сил, способствующих срыву сил инерции, и сил, препятствующих ему (сил поверхностного натяжения, вязкости и аэродинамического сопротивления). Поскольку при движении на жидкость оказывают влияние силы вязкости и поверхностного натяжения, для срыва гребня сила инерции жидкости должна их превышать. При вращении гребня относительно поверхности жидкости будет возрастать его масса, и при достижении ее критического значения поверхность потеряет устойчивость.

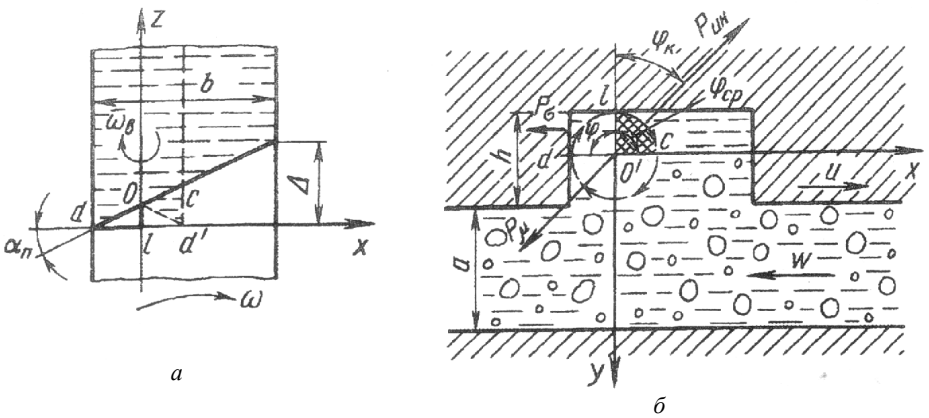


Рис. 2. Схема для пояснения механизма формирования неустойчивости:
а – в плоскости вращения; *б* – в тангенциальной плоскости

При вращении гребня на него действует сила инерции $P_{ин}$ вращающейся жидкости, стремящаяся разрушить гребень и направленная от центра вращения. Для недеформированного гребня

$$P_{ин} = \frac{2}{3}\rho_ж V_{гр}\omega_в^2 r_в . \quad (3)$$

Объем гребня жидкости $V_{гр}$ увеличивается с поворотом его на угол φ. Площадь поперечного сечения гребня изменяется от нулевого значения на линии do (см. рис. 2) до наибольшего значения, определяемого площадкой odc, что соответствует углу поворота гребня $\varphi = 180^\circ$.

При увеличении границы срыва возрастают силы поверхностного натяжения, стремящиеся уменьшить линейные размеры гребня и удержать его от срыва, и сила аэродинамического сопротивления. С увеличением площади срыва возрастают силы вязкости, препятствующие срыву. Кроме того, до сечения, соответствующего углу поворота гребня $\varphi = \pi/2$, гребень от срыва удерживается стенками канала полуоткрытого РК. При дальнейшем повороте гребень выходит из канала РК. Вероятность срыва гребня увеличивается и будет наибольшей при достижении им сечения $od'c$.

Сила поверхностного натяжения P_σ, действующая на гребень, направлена по касательной к его профилю в месте срыва (при $\varphi = \pi/2$). В момент срыва

$$P_\sigma = \sigma_ж r_ж \cos\varphi_к \frac{1+\sin\alpha_n}{\cos\alpha_n}, \quad (4)$$

где $\sigma_ж$ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости; $\varphi_к$ – угол между вертикалью и направлением силы инерции в момент срыва.

Выражение для силы вязкости P_μ, действующей в плоскости среза гребня, для слоя, в котором появляется ее действие, получим, приняв, что на внешней границе этого слоя сила трения равна нулю, а толщина постоянная вдоль радиуса и определяется формулой [8]

$$\delta_o = 3,7\sqrt{\nu_ж / \omega_в} . \quad (5)$$

Тогда

$$P_\mu = \mu_ж \omega_в^{1,5} r_в F_{ср} / \left(3,71\nu_ж^{0,5}\right), \quad (6)$$

где $F_{ср}$ – площадь действия сил вязкости в момент срыва. Из геометрических соотношений следует, что

$$F_{ср} = \frac{r_в^2}{2\cos\alpha_n}\left[\operatorname{arctg}\left(\cos\alpha_n \operatorname{tg}\varphi_{ср}\right)\right]. \quad (7)$$

Выражение (6) при $\varphi_{ср} = \pi/2$ будет иметь вид

$$P_\mu = \mu_ж \frac{\pi\omega_в^{1,5} r_в^3}{14,84\nu_ж^{0,5}\cos\alpha_n}. \quad (8)$$

Анализ изменения силы аэродинамического сопротивления показал, что она (см. рис. 2, *б*, заштрихованный сектор) составляет 0,1…0,3 % от $P_{ин}$. Это дает основание ею пренебречь.

Срыв гребня жидкости произойдет, когда внутренние силы жидкости не смогут удержать его в состоянии вращения. В этот момент произойдет деформация слоя гребня, и он разрушится. При срыве гребня должно выполниться условие

$$P_\mu + P_\sigma < P_{ин}. \quad (9)$$

В момент срыва гребень будет деформироваться, стремясь принять форму, при которой сопротивление срыву будет максимальным. Формой и размерами профиля в месте срыва гребня будет определяться максимальная сила поверхностного натяжения, совпадающая с направлением деформации гребня:

$$P_\sigma = \sigma_ж r_в \left(\frac{1+\sin\alpha_n}{\cos\alpha_n}\right). \quad (10)$$

Так как периметр сечения гребня в момент срыва определяется его положением в плоскости срыва, запишем условие неустойчивости для этого сечения. Примем, что силы инерции и вязкости у деформированного и недеформированного гребня при прочих равных условиях одинаковы. Силами, затраченными на разрыв жидкости, пренебрежем. Тогда в момент срыва удовлетворяется условие

$$\frac{\mu_ж \omega_в^{1,5} r_в^3 \varphi_{ср}}{4,72\nu_ж^{0,5}\cos\alpha_n} + \sigma_ж r_в \frac{1+\sin\alpha_n}{\cos\alpha_n} \le \le \frac{2}{3}\rho_ж \omega_в^2 \operatorname{tg}\alpha_n \left(\frac{\varphi_{ср}}{3} + \frac{\sin\varphi_{ср}}{2}\right). \quad (11)$$

Выражения (2) и (11) позволяют оценить условия, при которых формируется условие неустойчивости поверхности вращающейся жидкости.

Для условия неустойчивости, т. е. для $\varphi_{ср} = \pi/2$ и $r_в = h/2$, получим

$$0,265\rho_ж \nu_ж^{0,5} h^3 \omega^{1,5} + 0,5\sigma_ж h(1+\sin\alpha_n) = = 0,0384\rho_ж h^4 \sin\alpha_n \omega_в^2. \quad (12)$$

Экспериментальные точки, полученные при визуальном наблюдении за устойчивостью поверхности в канале РК для воды при *t* 20 °С, хорошо согласуются с теоретической зависимостью (рис. 3).

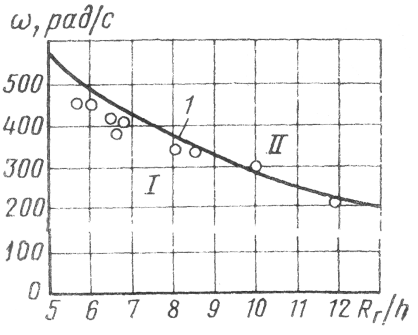


Рис. 3. К расчету границы и области неустойчивости поверхности «жидкость–газ»:
I – область устойчивой поверхности; II – область неустойчивости; *1* – расчетное значение границы неустойчивости

Определение начала разрушения поверхностного слоя жидкости на границе раздела фаз или границы области неустойчивого гребня проводилось визуально при освещении границы раздела фаз строботахометром.

Для оценки влияния физических свойств жидкости на границу неустойчивости испытания проводились холодной и подогретой водой, температура которой регулировалась расходом жидкости через полости вращения РК и контролировалась термометром.

Испытания проводились в двух вариантах. В одном варианте за постоянную величину принимали угловую скорость и увеличивали значение радиуса R_r. При этом фиксировали момент срыва капель. Далее фиксировали момент, когда капли на границе раздела фаз отсутствовали. Аналогично проводили испытания, принимая значения $R_r = \text{const}$ и варьируя угловую скорость РК.

Библиографические ссылки

1. Краева Е. М. Высокооборотные центробежные насосные агрегаты : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011.

2. Кетола Н., Мак-Грью М. Теория частично смоченного вращающегося диска // Проблемы трения и смазки : тр. АОИМ. М. : Мир, 1986. Т. 30. Сер. F. С. 86–102.

3. Third M. T., Saynders M. G. The hydrodynamic disk seal. Third international conference on fied sealing. England : Cambridge, 1967. P. 97–124.

4. Дорфман Л. А. Гидродинамическое сопротивление и теплоотдача вращающихся тел. М. : Физматгиз, 1960.

5. Байбиков А. С., Караханьян В. К. Гидродинамика вспомогательного тракта лопастных машин. М. : Машиностроение, 1982.

6. Краев М. В., Протевень И. С. Структура поверхности раздела частично смоченного диска с радиальными лопатками // Вестник СибГАУ. Вып. 3 (36), 2011. С. 113–116.

7. Масич И. С., Краева Е. М. Вихревые структуры турбулентных потоков и их моделирование // Вестник СибГАУ. Вып. 1 (34). С. 107–111.

8. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М. : Наука, 1969. 774 с.

M. V. Kraev

TURBULENT UNSTEADINESS OF «LIQUID–GAS» SURFACE OF CAVITIES OF ROTATION OF HYDROMACHINES ROTORS

On the basis of the stipulated picture of a current in a field of centrifugal forces of liquid and gas in inter blade channel of a semiexposed driving wheel of a rotor hydro-machine, the author calculate the parameters of «liquid–gas» surface with the analysis of stability of a rotating surface with experimental data.

Keywords: driving wheel, rotation, whirlwind, surface, interface, «liquid–gas».

© Краев М. В., 2012

УДК 539.3

В. А. Лавренов, А. В. Кацура

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЭКСПОЗИЦИИ И ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПЛАНЕРА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ресурс основных частей планера летательного аппарата (ЛА) определяется усталостной долговечностью деталей с концентраторами напряжений, работающих в условиях повторно-циклических деформаций растяжения или растяжения–сжатия. Основное повреждение в конструкционный материал вносят нагрузки растяжения.

Ключевые слова: деформирование,прочность,долговечность. термоэкспозиция.

Снижения уровня напряжений, действующих в зонах концентраторов, можно добиться увеличением площади расчетных сечений деталей при растяжении, сжатии, сдвиге, моментов сопротивления (разнесением сечения) при изгибе или кручении, увеличением количества крепежных элементов в заклепочных или болтовых соединениях. Но эти меры связаны со значительным увеличением веса или габаритов конструкций, уменьшением полезных объемов, что в авиации неприемлемо.

Эффективным способом повышения характеристик сопротивления усталости элементов конструкции планера ЛА стало создание в зонах концентрации напряжений полей остаточных напряжений обратного опасным с позиций сопротивления усталости эксплуатационным напряжениям знака (остаточных на-

пряжений сжатия) методами локально-упругого, упруго-пластического или пластического деформирования материала по контуру концентратора напряжений и постановки болтов и заклепок с гарантированным осевым и радиальным натягом.

Полезные остаточные напряжения сжатия, суммируясь с действующими в конструкции эксплуатационными напряжениями от внешних воздействий, существенно снижают уровень максимальных напряжений цикла растяжения, что приводит к ощутимому приросту долговечности элемента конструкции за счет увеличения периода циклической наработки до момента появления трещины усталости.

С другой стороны, при сборке узлов и агрегатов планера вследствие неизбежных погрешностей увязки и базирования между обшивками и сопряженными элементами каркаса возникают местные зазоры, которые во многих случаях устраняются методом упругой компенсации – путем подтяжки элементов пакета. Возникающие в сопрягаемых деталях монтажные напряжения местного изгиба отрицательно влияют на ресурсные характеристики конструкции, причем при поперечной деформации наибольшим деформациям подвергается наименее жесткий элемент пакета – обшивка, а уровень монтажных напряжений от изгиба определяется кривизной контура (срединной плоскости) конструктивного элемента. А максимальная кривизна наблюдается в местах постановки крепежа, т. е. в зоне неустранимых концентраторов напряжений – отверстий под болты и заклепки.

Исследования показали, что в штатных болтовых и заклепочных соединениях с идеальным прилеганием сопрягаемых элементов пакета (обшивки и подкрепляющего набора) монтажные напряжения невелики – около 1 кгс/мм^2.

В случае упругой компенсации зазора, равного 0,3 мм, монтажные напряжения в обшивке достигают 8 кгс/мм^2, при устранении зазора 0,8 мм напряжения возрастают до 22 кгс/мм^2. В большинстве натурных конструкций монтажные напряжения достигают максимальных значений в наименее жестких элементах (в обшивке), в местах пересечения продольного и поперечного силового набора и составляют $\Delta\sigma_x = 7{,}6$ кгс/мм^2; $\Delta\sigma_y = 8{,}2$ кгс/мм^2. В упругой области зависимость между величиной компенсируемого зазора и уровнем монтажных напряжений практически линейная: чем больше технологический зазор в пакете сопрягаемых деталей, тем выше остаточные монтажные напряжения.

Монтажные напряжения такой величины, возникшие в конструкции планера ЛА при сборке (экстремальные напряжения на растянутой при местном изгибе поверхности детали), суммируясь с эксплуатационными напряжениями (примерно такой же величины) могут существенно снизить долговечность конструкции [1].

Основной путь борьбы с негативными последствиями упругой компенсации зазоров – применение металлических прокладок-компенсаторов или прослоек полимерных компенсирующих заполнителей.

Однако длительная эксплуатация или воздействие повышенной температуры могут существенно сказаться на общем напряженно-деформированном состоянии конструкций и снизить положительный эффект упрочнения местным пластическим деформированием или повысить негативное действие монтажных напряжений.

Исследование влияния предварительной термоэкспозиции на усталостную долговечность конструкций с монтажными напряжениями проведено на образцах продольного проходного болтового соединения (см. таблицу).

Образец типа 1 – без зазора; образец типа 2 – с зазором 0,3 мм, прокладка Д16АТ; образец типа 3 – с зазором 0,8 мм, прокладка Д16АТ. При отсутствии прокладки элементы конструкции образца воспринимают усилия, пропорциональные площадям их поперечных сечений. При наличии прокладки происходит перераспределение усилий вследствие различных поперечных деформаций от продольных усилий – более жесткий элемент нагружается сильнее, что также моделирует условия работы натурных конструкций. Анодированные образцы без прокладки и с прокладкой толщиной 0,3 мм, что соответствует монтажным напряжениям в расчетном сечении (внутренний болт) $\sigma_м = 8\ldots10$ кгс/мм^2, после экспозиции в термостате конвективного теплообмена при температуре 175 °С в течение 168 ч (эквивалентных по параметру Ларсона–Миллера 20 000 ч выдержки при нормальной температуре) были испытаны на уровне $\sigma_{max} = 16$ кгс/мм^2, $\sigma_{min} = 4$ кгс/мм^2 с частотой циклического нагружения $f = 10$ Гц. Отмечено снижение усталостной долговечности исходных образцов в 1,9 раза, образцов с прокладкой – в 1,3 раза.

Характеристика образцов для исследования влияния монтажных напряжений на выносливость

Образец			Деталь					
Обозначение	Технологические параметры	Количество	Позиция	Наименование	Материалы	Размеры, мм	Количество, шт	
							на поз.	всего
Тип 1	Без зазора $h_1 = 0$ $\sigma_m = 0$	75	1	Пластина	Д16АТ	340×36×5	1	75
			2	Накладка	Д16АТ	340×36×4	1	75
Тип 2	С зазором $h_2 = 0{,}3$	72	1	Пластина	Д16АТ	340×36×5	1	72
			2	Накладка	Д16АТ	340×36×4	1	72
			3	Прокладка	Д16АТ	20×36×03	1	72
Тип 3	С зазором $h_3 = 0{,}8$	72	1	Пластина	Д16АТ	340×36×5	1	72
			2	Накладка	Д16АТ	340×36×4	1	72
			3	Прокладка	Д16АТ	20×36×08	1	72

Аналогичные по конструкции образцы, изготовленные 10 лет назад, были испытаны на усталость после выдержки в нормальных условиях в течение прошедшего с тех пор времени (88 000 ч). Часть их предварительно была подвергнута воздействию повышенной температуры. После 10-летней выдержки усталостные характеристики образцов снизились в 1,5…2,0 раза. Дополнительная термоэкспозиция значительно (в 2,5…3,0 раза) уменьшает сопротивление усталости всех образцов.

Используя принцип суперпозиции и считая, что термоэкспозиция не оказала существенного влияния на свойства материала Д16АТ, можно выразить долговечность образца без прокладки $N_{ТЭ}$ и образца с прокладкой $N^{н}_{ТЭ}$ после термоэкспозиции через исходные долговечности N_0 и $N^{н}_0$ с помощью коэффициентов, учитывающих влияние температуры на осевой натяг в зоне постановки крепежа $К^{н}_{ТЭ}$ и на величину (релаксацию) монтажных напряжений в расчетном сечении $К^{м}_{ТЭ}$:

$$N_{ТЭ} = К^{н}_{ТЭ} \cdot N_0, \quad (1)$$

$$N^{м}_{ТЭ} = К^{н}_{ТЭ} \cdot К^{м}_{ТЭ} \cdot N^{м}_0, \quad (2)$$

откуда

$$К^{н}_{ТЭ} = N_{ТЭ} / N_0, \quad (3)$$

$$К^{м}_{ТЭ} = N^{м}_{ТЭ} / N^{м}_0 \cdot К^{н}_{ТЭ}. \quad (4)$$

Долговечность исходных образцов после 10-летней выдержки в нормальных условиях

$$N_\tau = К^{н}_\tau \cdot N_0, \quad (5)$$

после предварительной термоэкспозиции и последующей 10-летней выдержки

$$N^{м}_{ТЭ\tau} = К^{н}_{ТЭ} \cdot К^{н}_\tau \cdot N_0. \quad (6)$$

Аналогично для образцов с монтажными напряжениями

$$N^{м}_\tau = К^{н}_\tau \cdot К^{м}_\tau \cdot N^{м}_0, \quad (7)$$

$$N^{м}_{ТЭ\tau} = К^{н}_\tau \cdot К^{м}_\tau \cdot К^{н}_{ТЭ} \cdot К^{м}_{ТЭ} \cdot N^{м}_0. \quad (8)$$

Здесь коэффициент $К^{н}_\tau$ учитывает изменение величины натяга в болтовом соединении со временем, коэффициент $К^{м}_\tau$ – влияние временных выдержек на величину монтажных напряжений.

Используя экспериментальные данные, из выражения (3) получаем

$$К^{н}_{ТЭ} = 71\,432 / 135\,348 = 0{,}53,$$

из выражения (4)

$$К^{м}_{ТЭ} = 74\,168 / 95\,810 \cdot 0{,}53 = 1{,}46.$$

Из выражения (5) имеем

$$К^{н}_\tau = 74\,509 / 135\,348 = 0{,}55,$$

из выражения (7)

$$К^{м}_\tau = 62\,991 / 95\,810 \cdot 0{,}55 = 1{,}19.$$

С помощью полученных коэффициентов можно рассчитать долговечность образца с монтажными напряжениями после предварительной термоэкспозиции и выдержки в нормальных условиях по формуле (8):

$$N^{м}_{ТЭ\tau} = 0{,}55 \cdot 1{,}19 \cdot 0{,}53 \cdot 1{,}46 \cdot 95\,810 = 50\,645 \text{ циклов.}$$

По данным эксперимента $N^{м}_{ТЭ\tau} = 40\,400$ циклов.

Анализ результатов, проведенный с использованием изложенной методики, показывает, что коэффициенты удовлетворительно оценивают качественно и количественно влияние эксплуатационных факторов на усталостную долговечность образцов с монтажными напряжениями. Следует учесть, что чем выше монтажные напряжения, осевые, радиальные натяги, тем большее влияние оказывают на них (а значит, и на долговечность) экспозиции.

Если коэффициент меньше 1, то действие соответствующего фактора на долговечность отрицательно. Чем коэффициент больше 1, чем существеннее положительное влияние эксплуатационного воздействия [2; 3].

В элементах конструкций с болтовыми и заклепочными соединениями можно ликвидировать вредное влияние монтажных напряжений путем следующих воздействий:

– хотя бы одноразовой термоэкспозицией с последующей затяжкой болтов (опрессовкой заклепочного соединения) для конструкций с $К^{н}_{ТЭ} \cdot К^{м}_{ТЭ} > 1$;

– циклическим нагревом с подтяжкой соединения после каждого цикла или длительной термоэкспозицией с периодической затяжкой болтов (опрессовкой заклепок) для конструкций с $К^{н}_{ТЭ} \cdot К^{м}_{ТЭ} \le 1$, $К^{м}_{ТЭ} > 1$.

Таким образом, конструкции с $К^{м}_{ТЭ} < 1$ улучшению не подлежат.

Результаты испытаний подтверждают вывод о сложном действии остаточных напряжений на напряженно-деформированное состояние конструкции в процессе статического и циклического нагружения при эксплуатации.

Так, в процессе релаксации натягов и монтажных напряжений в болтовых соединениях при длительном или достаточно интенсивном нагреве произошло выравнивание полей напряжений в исходных образцах и образцах с прокладкой, что в конечном счете обусловило практически равную долговечность соединений.

Анализ полученных в эксперименте значений коэффициента $К^{м}_{ТЭ} = 1{,}46$, учитывающего воздействие температуры на величину (релаксацию) монтажных напряжений в расчетном сечении, и коэффициента $К^{м}_\tau = 1{,}19$, учитывающего воздействие временных выдержек на величину монтажных напряжений, показывает, что недельная выдержка при повышенной температуре снижает отрицательное влияние монтажных напряжений на сопротивление усталости соединения почти в полтора раза за счет их интенсивной релаксации. Временна́я выдержка продолжительно-

стью 10 лет меньше сказалась на величине остаточных напряжений, усталостная долговечность соединения выросла примерно на 20 %. Если в первом приближении воспользоваться линейной аппроксимацией реологических эффектов, можно для сравниваемых временных интервалов получить эквивалент температурного воздействия на остаточные напряжения по критерию остаточной усталостной долговечности: выдержка продолжительностью 10 лет оказывает такое же влияние на снижение уровня остаточных напряжений в соединении, как и термоэкспозиция при температуре 175 °С в течение 70 ч (примерно трое суток).

Эти выводы применимы также для оценки снижения положительного эффекта упрочнения методом пластического деформирования в отношении сопротивления усталости элементов летательных аппаратов.

Библиографические ссылки

1. Трощенко В. Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. Киев : Наукова Думка, 1981.

2. Хардрат Г. Ф., Науманн Ю. С. Испытания образцов алюминиевого сплава на усталость при варьировании амплитуды нагрузки // Усталость и выносливость металлов ; под ред. Ужика. М. : Машиностроение, 1963. С. 339–355.

3. Харри Р., Жубер Ф., Гомаа А. Определение истинного предела выносливости неразрушающим методом по испытаниям одного образца // Теоретические основы инженерных расчетов. 1981. № 1. С. 72–77.

V. A. Lavrenov, A. V. Katsura

INFLUENCE OF THERMAL EXPOSURE AND PERIOD OF RUNNING ON LIFE CYCLE OF AN AIRFRAME

Endurance of the main parts of an airframe is estimated according to life cycle of the parts with stress concentrators, operating under repetitively applied deformations of expansion and expansion – shrinking. The main damage to the structure material is caused by extension loads

Keywords: deformation, durability, thermal exposure.

© Лавренов В. А., Кацура А. В., 2012

УДК 621.396.946

В. И. Лавров, А. В. Кузовников, В. Г. Сомов

МЕТОДИКА АНАЛИЗА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОРЕФЛЕКТОРНОЙ ГИБРИДНО-ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ СО СМЕЩЕННЫМ РЕФЛЕКТОРОМ

Проанализированны математические соотношения для описания геометрии гибридно-зеркальной антенны со смещенным рефлектором. Предложены механизмы оценки главной и кроссполяризационной составляющих поля в плоскости антенной решетки (АР) в режиме приема плоской волны, методика, позволяющая рассчитать энергетические характеристики однозеркальной гибридно-зеркальной антенны со смещенным рефлектором при возбуждении ее плоской антенной решеткой, состоящей из излучателей с круговой и линейной поляризацией излучения.

Ключевые слова: крупногабаритные антенны, методика анализа радиотехнических характеристик антенны, программно-методическое обеспечение.

Рассмотрим гибридную зеркальную антенну (ГЗА), которая состоит из смещенного параболического рефлектора и облучающей антенной решетки (АР) (рис. 1). Рефлектор представляет собой вырезку из осесимметричного параболического зеркала, ось симметрии которого совпадает с осью *OZ* системы *XYZ*. Вырезка рефлектора осуществлена эллиптическим цилиндром, ось которого смещена относительно оси *OZ* на величину $X_{\text{ОВ}}$.

Облучающая антенная решетка может быть плоской или криволинейной. Однако при этом предполагается, что нормали к плоскости раскрыва всех излучателей параллельны и образуют угол $\Psi_{\text{АР}}$ с осью рефлектора.

Для определения положения облучающей АР ГЗА, зон возбуждения антенной решетки, соответствующих различным положениям диаграммы направленности (ДН) антенны в секторе сканирования, предварительно проводится анализ поля в области фокусировки рефлектора при падении на него плоской волны.

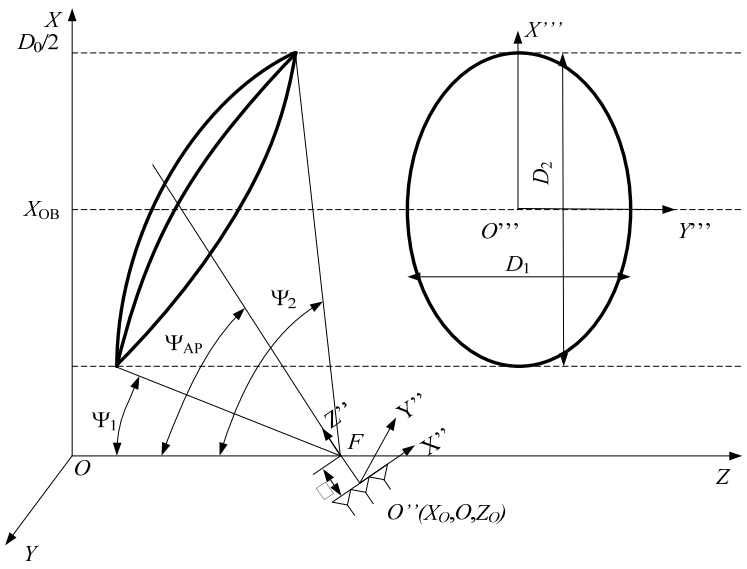


Рис. 1. Геометрия ГЗА со смещенным параболическим рефлектором:
D_0, F – диаметр и фокусное расстояние исходного осесимметричного параболического рефлектора; Ψ_1 – угол видимости нижней точки рефлектора из фокуса; Ψ_2 – угол видимости верхней точки рефлектора из фокуса; Ψ_{AP} – угол между осью антенны и нормальюк плоскости облучающей АР; Δ – смещение центра АР из фокуса; D_1, D_2 – размеры рефлектора в вертикальной и горизонтальной плоскостях ($D \geq 20\lambda$, $D_0 \geq 20\lambda$), λ – рабочая длинна волны; $X_{\text{ОВ}}$ – смещение центра апертуры рефлектора относительно оси OZ

В общем виде вектор напряженности падающего магнитного поля у поверхности рефлектора в произвольной точке с координатами x, y, z записывается в виде

$$\vec{H}_{\text{пад}}(x,y,z) = \vec{P} \cdot H_0 \cdot \tilde{F}(x'',y'')e^{jk\Delta r}, \qquad (1)$$

где $\vec{P}$ – единичный вектор поляризации падающего поля; H_0 – максимальная амплитуда поля по фронту волны, в дальнейшем полагаем $H_0 = 1$; $\tilde{F}(x'',y'')$ – нормированное амплитудное распределение поля по фронту волны; $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; $\Delta r = x\sin\theta_m\cos\varphi_m + y\sin\theta_m\sin\varphi_m + z\cos\theta_m$ – разность хода лучей до точки на рефлекторе и до начала координат; θ_m, φ_m – углы, характеризующие направление прихода плоской волны.

Вектор поляризации падающего поля при линейной вертикальной поляризации имеет вид $\vec{P} = \vec{i}\,\tilde{\varphi}_1$. Для линейно-горизонтальной поляризации и $\vec{P} = \vec{i}\,\tilde{\varphi}_2$

$$p_x = \cos\tilde{\varphi}_2; \quad p_y = 0; \quad p_z = -\sin\tilde{\varphi}_2 \qquad (2)$$

Для круговой поляризации

$$\vec{P} = \vec{i}_\varphi + j\tau\vec{i}_\theta, \qquad (3)$$

где $\tau = -1$ – для круговой поляризации с правым вращением относительно наблюдателя в дальней зоне и $\tau = +1$ – для круговой поляризации с левым вращением.

В силу того, что радиус кривизны рефлектора значительно больше длинны волны, то для определения вектора поверхностного электрического тока на рефлекторе, создаваемого падающим полем, используем формулу

$$\vec{J} = 2[\vec{m}, \vec{H}_{\text{пад}}], \qquad (4)$$

где $\vec{H}_{\text{пад}}\{H_x, H_y, H_z\}$ – вектор напряженности магнитного поля падающей плоской волны у поверхности рефлектора; $\vec{m}\{m_x, m_y, m_z\}$ – единичный вектор внутренней нормали к поверхности рефлектора.

Вектор напряженности электрического поля в области фокусировки ГЗА, создаваемого током, протекающим по всей поверхности рефлектора, определяется выражением

$$\vec{E}(x_0,y_0,z_0) = \frac{j}{2\lambda}\int\limits_{S\text{рефл}} \overline{\overline{\Gamma}}\vec{J}(x,y,z)dS, \qquad (5)$$

где

$$\overline{\overline{\Gamma}} = \begin{bmatrix} R_y^2 + R_z^2 & -R_xR_y & -R_xR_z \\ -R_xR_y & R_x^2 + R_z^2 & -R_yR_z \\ -R_xR_z & -R_yR_z & R_x^2 + R_y^2 \end{bmatrix} \cdot \frac{e^{-jkR}}{R^3};$$

здесь $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$, $R_x = x - x_0$, $R_y = y - y_c$, $R_z = z - z_0$; при этом x, y, z – координаты центра площадки dS в системе координат рефлектора XYZ.

Найдем составляющие вектора напряженности электрического поля в области фокусировки ГЗА в системе координат АР $X''Y''Z''$:

$$E_{x''} = E_x\cos\psi_{\text{АР}} + E_z\sin\psi_{\text{АР}},$$
$$E_{y''} = -E_y, \qquad (6)$$
$$E_{z''} = E_x\sin\psi_{\text{АР}} - E_z\cos\psi_{\text{АР}}.$$

Выделим главную $E_{гл}$ и кроссполяризационную $E_{кр}$ составляющие поля в плоскости АР. Для линейной вертикальной поляризации

$$E_{гл} = E_{x''}, \qquad E_{кр} = E_{y''}. \tag{7}$$

Для линейной горизонтальной поляризации

$$E_{гл} = E_{y2}, \qquad E_{пр} = E_{x''}. \tag{8}$$

Для круговой поляризации

$$\begin{aligned} E_{гл} &= \frac{1}{\sqrt{2}}(E_{x''} - j\tau E_{y''}), \\ E_{пр} &= \frac{1}{\sqrt{2}}(E_{x''} + j\tau E_{y''}). \end{aligned} \tag{9}$$

Таким образом, получены формулы, позволяющие рассчитать главную и кроссполяризационную составляющую поля в плоскости АР в режиме приема плоской волны, приходящей с произвольного направления из сектора сканирования ГЗА.

Для формирования диаграммы направленности в заданном направлении в ГЗА возбуждается не вся облучающая АР, а только некоторая группа излучателей. Это следует из анализа поля в области фокусировки ГЗА при приеме плоских волн с различных направлений из сектора обзора антенн. Группа одновременно возбужденных излучателей АР, формирующих ДН в заданном направлении, называется кластером. Все излучатели АР одновременно возбуждаются, как правило, лишь для формирования широкого луча, охватывающего весь сектор обзора ГЗА. Расчет возбуждения элементов АР проводится после выбора геометрии ГЗА и структуры облучающей АР, проведенной на этапе анализа антенны в режиме приема.

Методика расчета закона возбуждения элементов АР по заданным требованиям к диаграмме направленности (ширина и положение главного лепестка ДН, уровень боковых лепестков) включает несколько этапов (рис. 2):

1. С направления, в котором требуется сформировать ДН, задается падающая волна.

2. Амплитудное распределение по фронту падающей волны выбирается из условия получения в режиме передачи ДН требуемой ширины с требуемым уровнем боковых лепестков.

3. В месте расположения центра n-го излучателя АР (рассматриваются только излучатели, попадающие в пятно фокусировки) по приведенным выше формулам рассчитываются компоненты поля $E_{x''}, E_{y''}, E_{z''}$.

4. Выделяется главная составляющая поля $E_{гл}$.

5. Комплексный коэффициент возбуждения n-го излучателя I_n выбирается равным комплексно-сопряженному значению $E_{гл}$:

$$I_n = E_{гл.n}^{*} \tag{10}$$

6. Определяется центр кластера-элемента с максимальной амплитудой $|I|_{max}$.

7. Амплитуды возбуждения элементов кластера нормируются к $|I|_{max}$.

8. В кластер, ответственный за формирование ДН в заданном направлении, включаются излучатели, нормированная амплитуда возбуждения которых $|I|_n$ больше некоторого уровня – уровня отсечки E_0. Накопленный опыт расчетов ГЗА со смещенным рефлектором показал, что при уровне отсечки $E_0 = 0{,}05$ в ГЗА реализуются ДН с уровнем боковых лепестков (УБЛ) ≈ -30дБ.

9. Анализируются возможности дискретизации амплитудно-фазового распределения (АФР) для упрощения управления облучающей АР путем расчета выходных характеристик ГЗА – ДН и энергетических параметров.

На основе анализа выходных характеристик ГЗА геометрия антенны и структура облучателей АР могут быть уточнены.

Рассмотрим ГЗА с рефлектором, размеры и радиус кривизны которого значительно превышают длину волны. Полагаем, что поле излучения антенны создается токами, текущими по освещенной поверхности рефлектора, поверхность рефлектора имеет бесконечную проводимость и поэтому магнитные токи не учитываются.

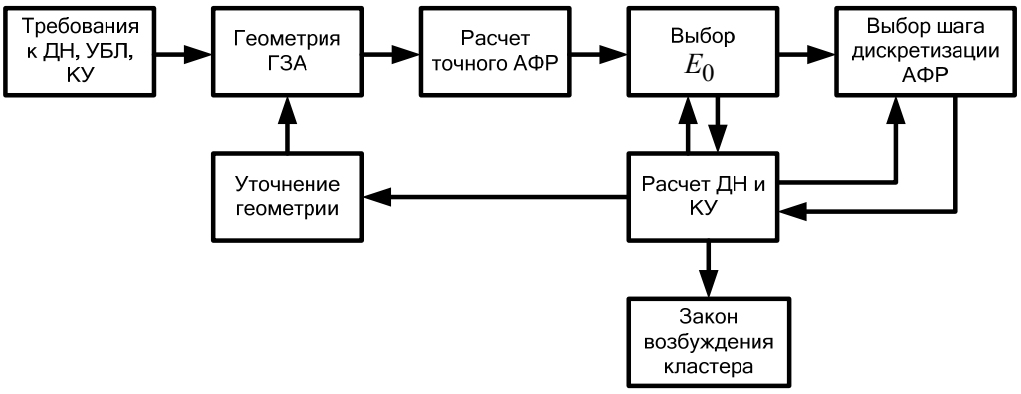


Рис. 2. Последовательность расчета закона возбуждения облучающей АР ГЗА

Тогда для дальней зоны можем записать

$$\vec{E} = \frac{kW_0}{4\pi j} \cdot \frac{e^{-jkR}}{R} \cdot (F_\theta \vec{i}_\theta + F_\varphi \vec{i}_\varphi), \qquad (11)$$

где R – расстояние от начала координат до точки наблюдения; $\vec{i}_\theta, \vec{i}_\varphi$ – единичные орты в сферической системе координат R, θ, φ; F_θ, F_φ – компоненты векторной ДН антенны; $W_0 = 120\pi$ – волновое сопротивление свободного пространства.

Векторную ДН ГЗА в приближении Гюйгенса-Кирхгофа можно определить по выражению

$$\vec{F}(\theta,\varphi) = \int\limits_{S_{\text{рефл}}} (\sum_{n=1}^{N} \vec{J}_n) \cdot e^{jk\rho\cos\vartheta} dS_{\text{рефл}}, \qquad (12)$$

где θ, φ – углы в сферической системе координат, определяющие направление на точку наблюдения; $\vec{J}_n$ – вектор плоскости поверхностного электрического тока, создаваемого n-м излучателем АР на рефлекторе; ρ – расстояние отначала координат до точки с током; $\vartheta = \vartheta(\theta,\varphi;\theta',\varphi')$ – угол между направлениями из начала координат в точки наблюдения (θ,φ) и интегрирования (θ',φ'); N – число одновременно возбуждаемых излучателей в облучающей АР.

Интегрирование в (12) ведется по освещенной поверхности рефлектора $S_{\text{рефл}}$.

Для линейно x'_n-поляризованных излучателей ДН в переднем полупространстве ($z'_n > 0$) может быть аппроксимирована в виде выражения

$$\vec{F}_{\text{обл}.n}(\theta'_n,\varphi'_n) = \vec{i}_{\theta'_n} U_1(\theta'_n)\cos\varphi'_n - \vec{i}_{\varphi'_n} U_2(\theta'_n)\sin\varphi'_n, \quad (13)$$

где $0 \le \theta'_n \le \pi/2$; $U_1(\theta'_n)$ – ДН в плоскости $X'_nO'_nZ'_n$ (в данном случае это плоскость вектора $\vec{E}_{\text{обл}.n}$); $U_2(\theta'_n)$ – ДН в плоскости $Y'_nO'_nZ'_n$ (в данном случае это плоскость вектора $\vec{H}_{\text{обл}.n}$).

Для линейно y'_n-поляризованных излучателей ДН может быть аппроксимирована в виде

$$\vec{F}_{\text{обл}.n}(\theta'_n,\varphi'_n) = \vec{i}_{\theta'_n} U_2(\theta'_n)\sin\varphi'_n + \vec{i}_{\varphi'_n} U_1(\theta'_n)\cos\varphi'_n, \quad (14)$$

где $0 \le \theta'_n \le \pi/2$ – ДН в плоскости $X'_nO'_nZ'_n$ (в данном случае это плоскость вектора $\vec{E}_{\text{обл}.n}$); $U_2(\theta'_n)$ – ДН в плоскости $Y'_nO'_nZ'_n$ (в данном случае это плоскость вектора $\vec{H}_{\text{обл}.n}$).

Для излучателей с круговой поляризацией поля излучения $\vec{F}_{\text{обл}.n}$ запишем в виде суперпозиции (13) и (14) с фазовым сдвигом между ними, равным $\pm 90^0$:

$$\vec{F}_{\text{обл}.n}(\theta'_n,\varphi'_n) = e^{j\tau\varphi'_n}\left[\vec{i}_{\theta'_n} U_1(\theta'_n) + \vec{i}_{\varphi'_n} j\tau U_2(\theta'_n)\right], \quad (15)$$

где параметр τ задает вид поляризации.

Вектор напряженности магнитного поля, создаваемого n-м излучателем у поверхности рефлектора в точке M (x_m, y_m, z_m) в системе координат $X'_nY'_nZ'_n$, имеет вид

$$\vec{H}'_n = \frac{1}{W_0}\left[\vec{i}_{R'_n}, \vec{E}'_n\right], \qquad (16)$$

здесь $\vec{i}_{R'_n}$ – радиус-вектор, направленный на точку M рефлектора.

Поэтому для линейно x'_n-поляризованного излучателя и для линейно y'_n-поляризованного излучателя получаем следующие выражения для компонент вектора $\vec{H}'_n$ в собственной системе координат:

$$\begin{aligned} H'_{xn} &= I_n \frac{e^{-jkp_n}}{W_0 p_n} \times \\ &\times\left[-U_2(\theta'_n)\sin^2\varphi'_n - U_1(\theta'_n)\cos\theta'_n\cos^2\varphi'_n\right], \\ H'_{yn} &= I_n \frac{e^{-jkp_n}}{W_0 p_n}\left[U_2(\theta'_n) - U_1(\theta'_n)\cos\theta'_n\right] \times \\ &\times \sin\varphi'_n\cos\varphi'_n, \\ H'_{zn} &= I_n \frac{e^{-jkp_n}}{W_0 p_n}\left[-U_1(\theta'_n)\sin\theta'_n\cos\varphi'_n\right]. \end{aligned} \qquad (17)$$

Для излучателя с круговой поляризацией

$$\begin{aligned} H'_{xn} &= I_n \frac{e^{-jkp_n} e^{j\tau\varphi'_n}}{W_0 p_n} \times \\ &\times\left[-U_1(\theta'_n)\sin\varphi'_n - j\tau U_2(\theta'_n)\cos\theta'_n\cos\varphi'_n\right], \\ H'_{yn} &= I_n \frac{e^{-jkp_n} e^{j\tau\varphi'_n}}{W_0 p_n} \times \\ &\times\left[U_1(\theta'_n)\cos\varphi'_n - j\tau U_2(\theta'_n)\cos\theta'_n\sin\varphi'_n\right], \\ H'_{zn} &= I_n \frac{e^{-jkp_n} e^{j\tau\varphi'_n}}{W_0 p_n}\left[-j\tau U_2(\theta'_n)\sin\theta'_n\right]. \end{aligned} \qquad (18)$$

Таким образом, получены выражения, которые позволяют рассчитать основную и кроссполяризационную компоненты поля однозеркальной ГЗА со смещенным рефлектором в дальней зоне при возбуждении ее плоской антенной решеткой, состоящей из излучателей с линейной или круговой поляризацией излучения.

Плотность потока энергии в любой точке пространства, окружающего антенну, характеризуется вектором Пойнтинга, среднее значение которого в точке с текущими координатами θ, φ на поверхности сферы радиуса R определяется соотношением [1]

$$\vec{\Pi} = \frac{1}{2}\left[\vec{E}(\theta,\varphi), \vec{H}^*(\theta,\varphi)\right]. \qquad (19)$$

Известно [2; 3; 4], что коэффициент направленного действия характеризует степень выигрыша по мощности, получаемого вследствие направленности антенны, и имеет вид

$$D(\theta,\varphi) = \frac{\Pi(\theta,\varphi)}{\Pi_{\text{нен}}}, \qquad (20)$$

где $\Pi(\theta,\varphi)$ – среднее значение вектора Пойнтинга в направлении углов (θ,φ); $\Pi_{\text{нен}}$ – усредненное значение вектора Пойнтинга по всем направлениям (рассматривается ненаправленная (изотропная) антенна).

Заметим [1], что в свободном пространстве и в дальней зоне $H(\theta,\varphi)=\dfrac{E(\theta,\varphi)}{W_0}$.

Тогда вектор Пойнтинга для ГЗА с линейной вертикальной поляризацией представлен в виде

$$\vec{\Pi}(\theta,\varphi)=\frac{k^2W_0}{32\pi^2R^2}\left[\left|F_{\tilde{\theta}_1}(\theta,\varphi)\right|^2+\left|F_{\tilde{\varphi}_1}(\theta,\varphi)\right|^2\right]\vec{i}_R. \quad (21)$$

Для ГЗА с линейной горизонтальной поляризацией вектор Пойнтинга определим соотношением

$$\vec{\Pi}(\theta,\varphi)=\frac{k^2W_0}{32\pi^2R^2}\left[\left|F_{\tilde{\theta}_1}(\theta,\varphi)\right|^2+\left|F_{\tilde{\varphi}_1}(\theta,\varphi)\right|^2\right]\vec{i}_R. \quad (22)$$

Для ГЗА с круговой поляризацией получим

$$\vec{\Pi}(\theta,\varphi)=\frac{k^2W_0}{32\pi^2R^2}\left[\left|F_{\theta_1}(\theta,\varphi)\right|^2+\left|F_{\varphi_1}(\theta,\varphi)\right|^2\right]\vec{i}_R. \quad (23)$$

Величина вектора Пойнтинга $\Pi_{\text{нен}}$ вычисляется усреднением мощности, излучаемой антенной в пределах некоторого телесного угла по всей поверхности сферы радиуса R.

Вектор напряженности магнитного поля, облучающей АР в дальней зоне, имеет вид

$$\vec{H}_{AP}(\theta',\varphi')=\frac{1}{W_0}\left[\vec{i}_R,\vec{i}_{AP}(\theta',\varphi')\right], \quad (24)$$

тогда рассчитаем вектор Пойтинга:

– в случае линейно поляризованных излучателей

$$\Pi_{\text{нен}}=\frac{\int\limits_{S_R}\left[U_1^2(\theta')\cos^2\varphi'+U_2^2(\theta')\sin^2\varphi'\right]\times \times\left|\sum\limits_{n=1}^{N}I_n e^{jkR_n\cos\alpha_n}\right|^2 ds}{2W_0R^2S_R}, \quad (25)$$

– для излучателей с круговой поляризацией

$$\Pi_{\text{нен}}=\frac{\int\limits_{S_R}\left[U_1^2(\theta')+U_2^2(\theta')\right]\left|\sum\limits_{n=1}^{N}I_n e^{jkR_n\cos\alpha_n}\right|^2 ds}{2W_0R^2S_R}. \quad (26)$$

Коэффициент направленного действия (КНД) на главной поляризации гибридной зеркальной антенны с линейно поляризованными излучателями имеет вид

$$D=\frac{\pi W_0^2}{\lambda^2}\cdot\frac{\left|F_{\tilde{\theta}_{1,2}}(\theta_M,\varphi_M)\right|^2}{\int\limits_0^{2\pi}\int\limits_0^{\pi/2}\left[U_1^2(\theta')\cos^2\varphi'+U_2^2(\theta')\sin^2\varphi'\right]\times \times\left|\sum\limits_{n=1}^{N}I_n e^{jkR_n\cos\alpha_n}\right|^2\sin\theta' d\theta' d\varphi'}, \quad (27)$$

с излучателями, имеющими круговую поляризацию поля излучения,

$$D=\frac{\pi W_0^2}{\lambda^2}\cdot\frac{\left|F_{\text{гл}}(\theta_M,\varphi_M)\right|^2}{\int\limits_0^{2\pi}\int\limits_0^{\pi/2}\left[U_1^2(\theta')+U_2^2(\theta')\right]\times \times\left|\sum\limits_{n=1}^{N}I_n e^{jkR_n\cos\alpha_n}\right|^2\sin\theta' d\theta' d\varphi'}. \quad (28)$$

Компонент вектора Пойнтинга имеет вид

$$\vec{\Pi}''_{AP}(M)=\frac{1}{2}\left[\vec{E}''_{AP}(M),\vec{H}''_{AP}(M)\right].$$

Мощность излучения АР, проходящая через поверхность, совпадающую с поверхностью рефлектора определим по формуле

$$P_{\text{рефл}}=-\int\limits_{S_{\text{рефл}}}(\vec{\Pi}_{AP},\vec{m})ds, \quad (29)$$

где $\vec{m}$ – единичная внутренняя нормаль к поверхности рефлектора.

Таким образом, получены выражения, позволяющие рассчитать энергетические характеристики однозеркальной ГЗА со смещенным рефлектором при возбуждении ее плоской антенной решеткой, состоящей из излучателей с круговой и линейной поляризацией излучения.

В результате проведенных исследований обоснованы основные формулы, характеризующие геометрию гибридно-зеркальной антенны со смещенным рефлектором. Получены математические соотношения, позволяющие рассчитать главную и кроссполяризационную составляющую поля в плоскости антенной решетки в режиме приема плоской волны, приходящей с произвольного направления из сектора сканирования гибридно-зеркальной антенны. Обоснована методика рассчета основной и кроссполяризационной компоненты поля однозеркальной ГЗА со смещенным рефлектором в дальней зоне при возбуждении ее плоской антенной решеткой, состоящей из излучателей с линейной или круговой поляризацией излучения. Предложена методика, позволяющая рассчитать энергетические характеристики однозеркальной ГЗА со смещенным рефлектором при возбуждении ее плоской антенной решеткой, состоящей из излучателей с круговой и линейной поляризацией излучения.

Библиографические ссылки

1. Электромагнитные поля и волны : в 2 кн. Кн. 1. Основы теории электромагнитного поля : учеб. пособие / В. Г. Сомов ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008.

2. Кочержевский Г. Н., Ерохин Г. А, Козырев Н. Д. Антенно-фидерные устройства. М. : Радио и связь, 1989.

3. Усин В. А. Теория построения и методы исследования антенных систем : в 2 ч. Ч. I. Общая теория антенн СВЧ. Харьков : ВИРТА, 1991.

4. Шифрин Я. С. Антенны. Харьков : ВИРТА ПВО, 1976.

V. I. Lavrov, A. V. Kuzovnikov, V. G. Somov

PROCEDURE OF ANALYSIS OF RADIO ENGINEERING CHARACTERISTICS OF ONE-REFLECTOR HYBRID-MIRROR ANTENNA WITH THE OFFSET REFLECTOR

The authors consider mathematical relationships for the geometry description of hybridly-reflector antenna with the offset reflector is done in article, and offer gears of estimation of the main and cross-polarization field components in antenna array (AA) in a plane wave receive mode. The procedure, allowing to count power characteristics of one-mirror-antenna with the offset reflector, is offered, at excitation of it with flat antenna array, consisting of emitters with circular and linear polarization of radiation.

Keywords: large-size antennas, procedure of the analysis of radio engineering characteristics of the antenna, software-methodical support.

© Лавров В. И., Кузовников А. В., Сомов В. Г., 2012

УДК 629.78.018.3:533.6:621.396.67

А. Б. Надирадзе, Р. Р. Рахматуллин, С. Г. Кочура, И. А. Максимов, В. А. Смирнов

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ЭРОЗИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ СТРУЙ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрены методические вопросы экспериментального определения стойкости композиционных материалов к эрозионному воздействию струй стационарных плазменных двигателей (СПД). Предложен метод определения «сухой» массы образца по результатам обезгаживания. Приведены экспериментальные зависимости коэффициента распыления углепластика от угла падения ионов, ионного флюенса и ориентации волокон относительно потока плазмы.

Ключевые слова: космический аппарат, композиционные материалы, стационарный плазменный двигатель, методика эксперимента, коэффициент распыления.

В настоящее время композиционные материалы находят широкое применение при изготовлении образцов ракетно-космической техники. В частности, многие конструктивные элементы автоматических космических аппаратов (КА), включая элементы крупногабаритных трансформируемых систем, изготавливаются с использованием углепластиков. В свою очередь, повышение требований к целевым характеристикам и энерговооруженности КА при наличии ограничений на массово-габаритные характеристики КА приводит к существенному «уплотнению» конструктивно-компоновочных схем современных КА, что обуславливает попадание ряда конструктивных элементов крупногабаритных трансформируемых систем под воздействие плазменных струй СПД, приводящее к распылению материалов их поверхностей.

В связи с этим возникает необходимость повышения точности оценок эрозионно-загрязняющего воздействия плазменных струй СПД на КА посредством учета «тонких» эффектов, характеризующих процессы распыления материалов, таких как влияние флюенса, индикатрисы распыления, анизотропии свойств материалов и пр. Кроме того, при экспериментальном определении параметров распыления композиционных материалов и, в частности углепластиков, для повышения точности получаемых результатов необходимо учитывать ряд специфических особенностей этих материалов.

Одним из путей повышения точности экспериментальных данных является хорошо обоснованный выбор схемы и параметров эксперимента, его тщательная методическая разработка и соблюдение многочисленных ограничений.

Основная сложность измерения характеристик распыления композиционных материалов при низких энергиях ионов состоит в большой продолжительности эксперимента, необходимой для получения приемлемой точности измерения. В связи с этим для проведения испытаний преимуществом обладают методы, позволяющие одновременно испытывать большое количество образцов. Реализовать такую схему измерений можно с помощью стационарных плазменных двигателей, имеющих большую расходимость плазменного потока (до 40 ^{o}C), и позволяющих разместить в потоке до 10–15 образцов материалов. Исходя из этих соображений для измерения коэффициентов распыления композиционных материалов была выбрана схема эксперимента (рис. 1).

Величина коэффициента распыления измеряется весовым методом при известных параметрах плазменного потока и времени воздействия плазмы на образец.

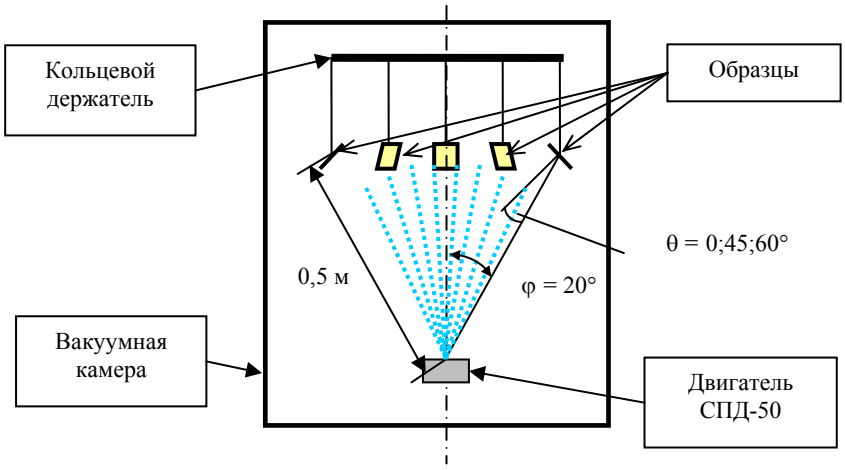


Рис. 1. Схема эксперимента по определению характеристик распыления конструкционных материалов КА

Для обеспечения требуемой точности и повторяемости результатов измерений необходимо выполнять ограничения на режимы проведения эксперимента.

Потери массы образов (за счет распыления) должны быть не менее $(20...30)\times\delta_M$, где δ_M – разрешающая способность используемых микровесов. Для аналитических рычажных весов δ_M = 0,1 мг, следовательно, величина массы распыленного вещества должна быть не менее $\Delta M_{расп} \geq 0{,}1\times(20...30) = 2...3$ мг.

Следует учитывать, что неметаллические и композиционные материалы обладают весьма существенной собственной потерей массы, обусловленной их гигроскопичностью и газовыделением материалов в вакууме.

Стандартные параметры общих потерь массы (ОПМ) для современных материалов космического применения обычно не превышают 0,1 %. Потери массы за счет газовыделения не должны превышать 3–5 % массы распыленного вещества. Для указанной выше величины $\Delta M_{расп}$ = 2–3 мг, это соответствует 0,1–0,2 мг. При этом масса образца должна быть не больше 0,1–0,2 г.

Если масса образца превышает указанные значения, следует либо увеличивать $\Delta M_{расп}$, либо обезгаживать образцы.

Расстояние от двигателя не должно быть больше 1/2 длины пробега ионов в камере ($\lambda \approx 1$ м при давлении $5 \cdot 10^{-4}$ торр.), иначе в потоке возрастет доля упругорассеяных ионов. Приближение образцов к двигателю также ограничено неравномерностью потока. Исходя из этого расстояние от двигателя до образцов было выбрано равным 0,5 м.

Температура образца не должна превышать рабочей температуры материала (75–120 °С), в противном случае в нем могут начаться необратимые деструктивные явления.

Образцы в камере должны располагаться так, чтобы минимизировать потоки осаждения на них продуктов распыления стенок вакуумной камеры.

Размеры образца ограничены неравномерностью плотности тока по длине образца, которая не должна превышать 3–5 % от среднего значения (рис. 2).

Режим работы источника плазмы (плотность ионного тока) выбирают таким образом, чтобы обеспечить температурный режим образцов.

Время эксперимента $\tau_{эксп}$ выбирают в соответствии с требуемой точностью. Желательно, чтобы оно не превышало 40–50 ч, в противном случае стоимость работ резко возрастает.

При использовании весового метода измерений большое влияние на точность измерений могут оказывать потери массы, обусловленные собственным массовыделением материалов или их гигроскопичностью. В связи с этим перед проведением испытаний проводилось обезгаживание и определение «сухой» массы образцов.

Для этого образцы помещались в вакуумную камеру и нагревались до температуры 70 °С. Время выдержки в вакууме – 3 ч. После этого вакуумная камера заполнялась сухим азотом. Образцы извлекались из камеры и взвешивались на аналитических весах. Задержка между заполнением камеры и взвешиванием не превышала 1 ч. После взвешивания образцы снова помещались в вакуумную камеру, и проводился еще один цикл обезгаживания с целью получения информации о динамике сброса массы и повышения достоверности оценок сухой «массы». Результаты измерений потери массы образцов углепластика приведены на рис. 3.

В течение 6 ч образцы потеряли более 90 % массы. Для получения значений «сухой» массы образца использовалась аппроксимация экспериментальных данных следующей экспоненциальной зависимости:

$$\Delta m = \Delta m_\infty \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right),$$

где Δm_∞ – полная потеря массы (влаги), τ – постоянная времени обезгаживания.

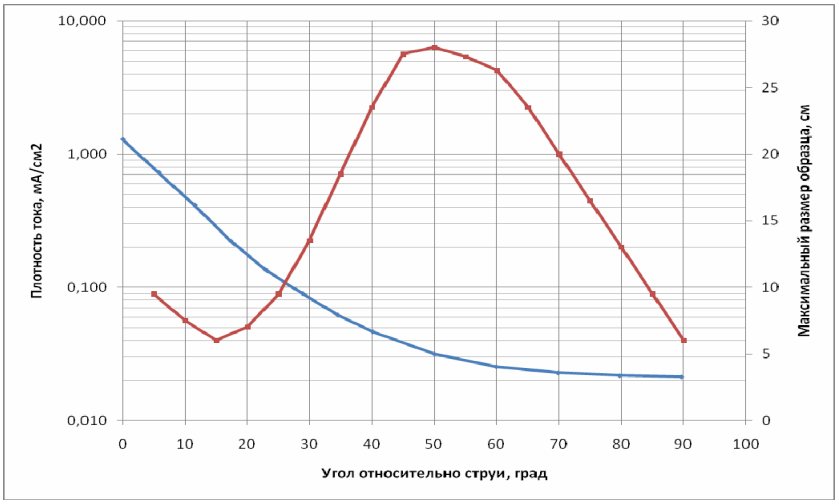


Рис. 2. Угловая зависимость плотности тока в струе СПД-50 и максимального размера образца на расстоянии 0,5 м от среза двигателя

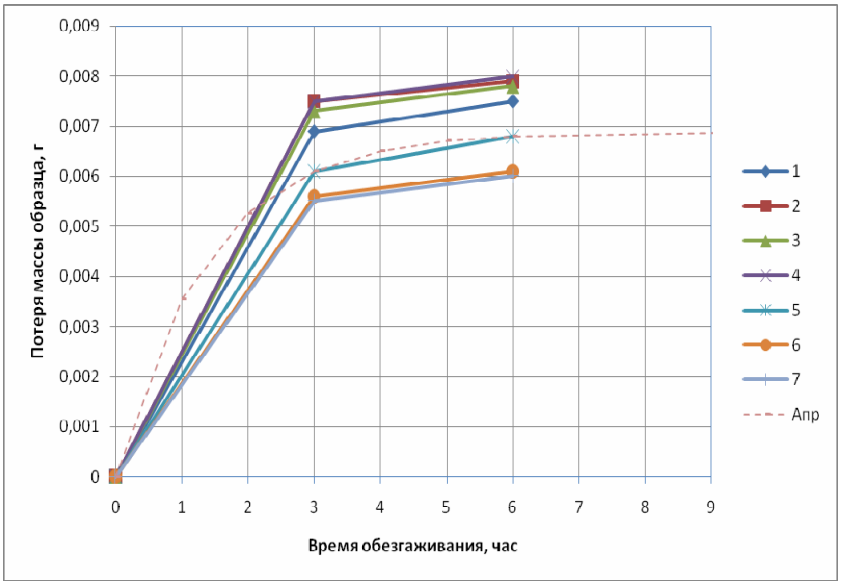


Рис. 3. Зависимость потери массы образцов от времени: точки 1–7 эксперимент, пунктир – аппроксимация (для образца 5)

Значения параметров в формуле (1) определялись методом наименьших квадратов по экспериментальным данным.

Величина «сухой» массы образца вычислялась по формуле

$$M_k^{(0)} = M_k^{(1)} - \Delta m_\infty ,$$

где $M_k^{(0)}$ – «сухая» масса образца, $M_k^{(1)}$ – равновесная масса образца (при нахождении на влажном воздухе).

По результатам этих измерений содержание влаги в образцах углепластика составило около 0,17 %. Постоянная времени обезгаживания (при температуре 70 °С) τ = 1,2 ч.

После обезгаживания образцы были помещены на открытом воздухе для получения информации о наборе массы. Образцы взвешивались через каждые 3–4 ч в течение последующих четырех суток. Кривая набора массы образцов углепластика (при влажности воздуха 39–51 %) приведена на рис. 4.

Процесс набора влаги достаточно длительный (постоянная времени этого процесса τ = 25 ч).

Таким образом, для исключения влияния влаги в образцах углепластика перед проведением испытаний необходимо их обезгаживать. При обезгаживании должно быть получены, по крайней мере, две точки, позволяющие иметь информацию о динамике процесса обезгаживания, необходимую для получения достоверных оценок «сухой» массы образцов. Для снижения влияния влаги при извлечении образцов из вакуумной камеры ее следует заполнять сухим азотом. Взвешивать образцы после их извлечения из вакуум-

ной камеры необходимо не позже чем через 1–2 ч (при влажности до 50 %). В этом случае изменение массы составит не более 0,1–0,2 мг (в пределах разрешающей способности аналитических весов). При влажности воздуха более 50 % это время следует минимизировать.

По данной методике были испытаны образцы углепластика на основе углеродного жгута, стеклонити и органического связующего.

На внешней поверхности углепластика находится защитный слой, толщиной около 20 мкм, образованный тонкими стеклянными нитями, уложенными в одном направлении.

Эксперимент проводился на стенде ПП-2 МАИ [1], оснащенном современными безмасляными средствами откачки, обеспечивающими вакуум на уровне 10^{-5} торр. при работающем источнике плазмы. В качестве источника плазмы применялся стационарный плазменный двигатель типа СПД-50 (ток разряда 1,2–1,8 А, напряжение разряда 250–300 В). Образцы углепластика размещались в струе двигателя на расстоянии 0,5 м от среза, под углом 20° к оси струи. Углы падения ионов на поверхность образцов составляли 0, 45 и 60°, плотность ионного тока на образцах – 0,185 мА/см^2, средняя энергия ионов – 200 эВ. Облучение образцов производилось в три этапа, продолжительностью 32, 16 и 12 ч (рис. 5). Существенного изменения скорости распыления по времени облучения не происходит. По-видимому, это связано с тем, что при реализованном в эксперименте флюенсе, глубина распыления составила около 10–15 мкм, что соответствует примерно 50 % эрозии защитного слоя.

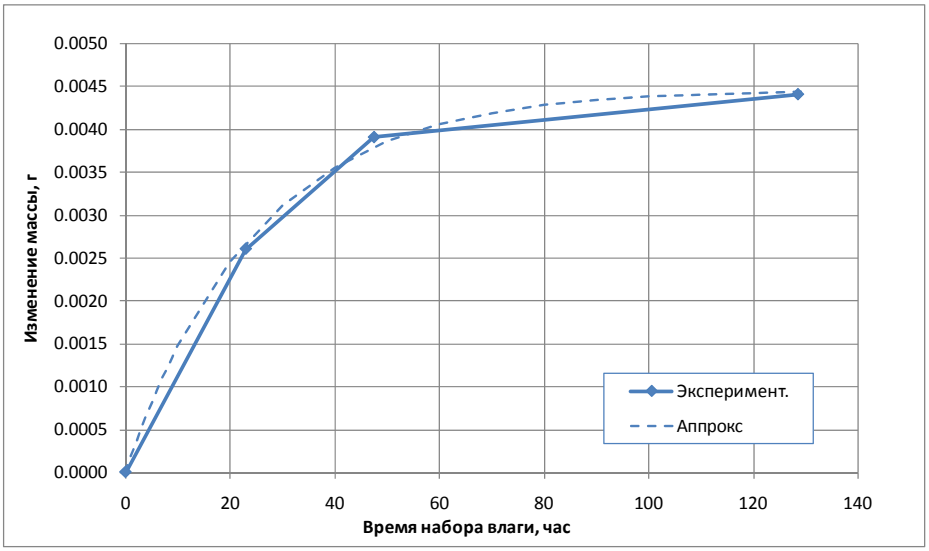


Рис. 4. Зависимость увеличения массы образцов от времени

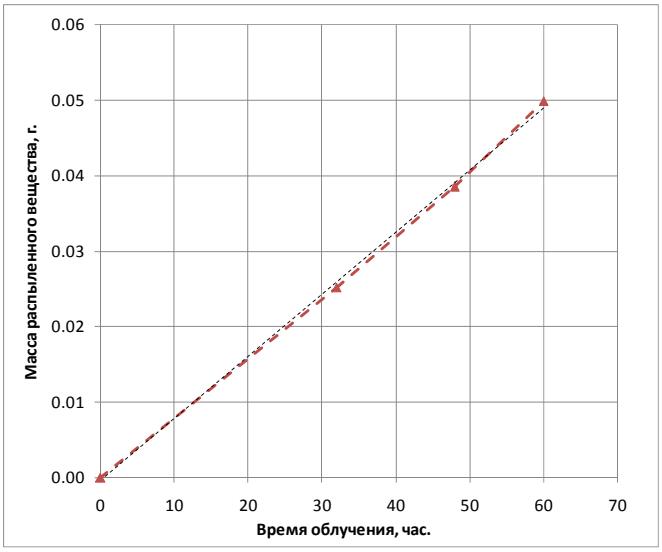


Рис. 5. Зависимость массы распыленного вещества от времени облучения при нормальном падении ионов

При дальнейшем воздействии потока плазмы можно прогнозировать полное распыление защитного слоя и переход к распылению углепластика. При этом, естественно, произойдет изменение скорости распыления в соответствии с характеристиками распыления углепластика.

Коэффициент распыления защитного слоя при средней энергии ионов 200 эВ составил 0,24 атом/ион при среднем атомном весе распыленных частиц M_w = 20,2 (стекло). Массовый коэффициент распыления составил 0,05 мг/К, а объемный (при плотности материала 2,2 г/см^3) – 0,023 мм^3/К. Для сравнения отметим, что по данным [2] коэффициент распыления стекла (при энергии 200 эВ) составляет около 0,2–0,3, что соответствует измеренным значениям.

После распыления защитного слоя скорость распыления, по-видимому, должна уменьшиться в несколько раз, поскольку углерод более стоек к распылению, чем стекло. Так коэффициент распыления графита при энергии 200 эВ составляет около 0,04 атом/ион [3; 4]. У углепластика за счет волокнистой структуры и наличия связующего коэффициент распыления будет несколько больше (рис. 6).

На зависимость заметное влияние оказывает ориентация образца относительно потока ионов. Так, при ориентации вдоль волокон максимальный коэффициент распыления примерно в 1,4 раза больше, чем при ориентации поперек волокон.

Причина этого эффекта, по-видимому, связана с частичным затенением материала при поперечной ориентации образца. Эту гипотезу подтверждают результаты исследования на электронном микроскопе (рис. 7).

На этих снимках отчетливо видно, что на образцах с поперечной ориентацией образуются «кристаллы», находящиеся в тени нитей стекловолокна защитного слоя. На образцах, ориентированных вдоль потока, таких «кристаллов» не образуется за исключением тех мест, где нити ориентированы под углом к потоку.

По мере распыления образца наблюдается постепенное снижение максимума распыления при угле падения 60°. Возможно, что этот эффект связан с частичным оголением углеродных волокон, находящихся под стеклянными нитями.

Таким образом, показано, что для получения данных по распылению композиционных материалов необходимо строго выполнять множество ограничений на параметры эксперимента и проводить тщательную методическую подготовку.

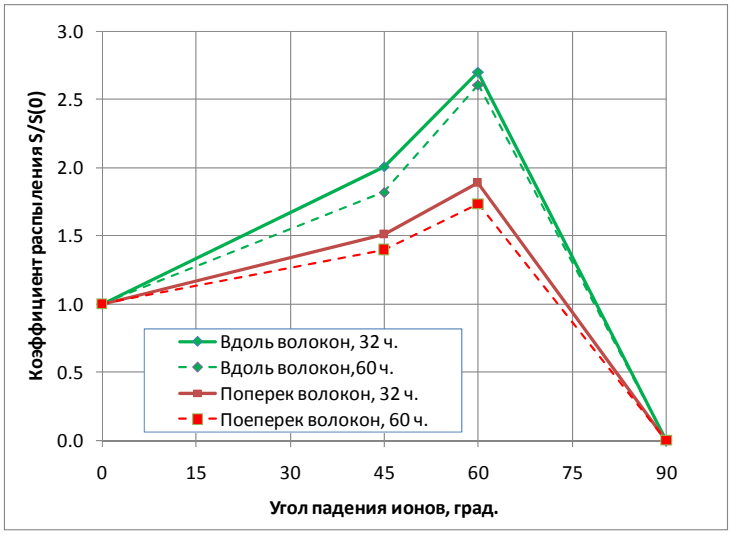
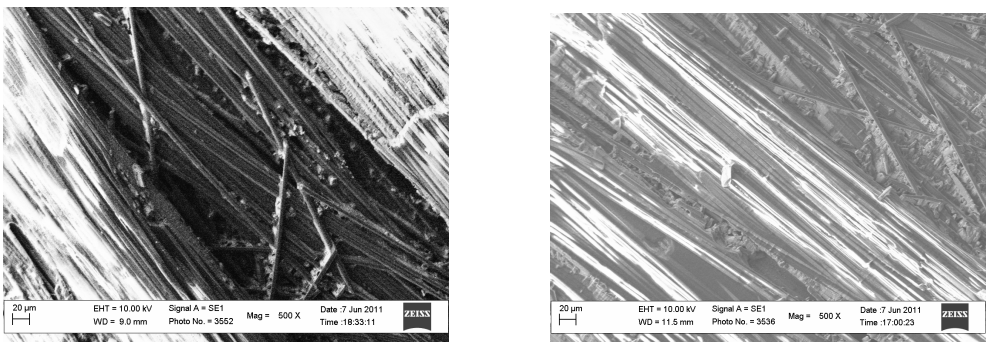


Рис. 6. Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов



а *б*

Рис. 7. Поверхность образцов при угле падения ионов 45° при продольной (*а*) и поперечной (*б*) ориентации волокон относительно потока ионов

Для исключения влияния влаги, перед проведением испытаний необходимо производить обезгаживание образцов. При обезгаживании должно быть получено, по крайней мере, две точки, позволяющие получить информацию о динамике процесса обезгаживания и оценить величину «сухой» массы образцов.

Влияния флюенса на скорость распыления защитного слоя углепластика не обнаружено. При полном распылении защитного слоя возможно уменьшение коэффициента распыления за счет перехода к распылению углеволоконной основы.

Обнаружено значительное (около 40 %) влияние ориентации образца относительно потока ионов на величину коэффициента распыления при наклонном падении ионов. Показано, что этот эффект связан с частичным затенением поверхности стеклянными нитями, образующими защитный слой углепластика.

Библиографические ссылки

1. Сайт стенда ПП-2 МАИ. URL: http://www.spp2.ru.

2. Pencil E. J., Randolph T., Manzella D. End-of-life Stationary Plasma Thruster far-filed plume characterization // AIAA-96-2709, Joint Propulsion Conf. and Exhibit, 32nd. Lake Buena Vista, FL, July 1–3. 1996.

3. Xenon sputter yield measurements for ion thruster materials / J. D. Williams, M. M. Gardner, M. L. Johnson, P. J. Wilbur // IEPC-03-130 at the 28th Int'l Electric Propulsion Conf., Toulouse, France, 17–21 March. 2003.

4. Проблемы прикладной физики. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Физическое распыление одноэлементных твердых тел / под ред. Р. Бериша ; пер. с англ. под ред. В. А. Молчанова. М. : 1984.

A. B. Nadiradze, R. R. Rachmatullin, S. G. Kochura,
I. A. Maksimov, V. A. Smirnov

FEATURES OF EXPERIMENTAL DEFINITION OF COMPOSITE MATERIALS DURABILITY AGAINST EROSIVE IMPACT OF STATIONARY PLASMA THRUSTERS

The report reviews the methodical aspects of the experimental definition of the composite materials durability against erosive impact of stationary plasma thruster (SPT). The definition method of «dry» mass of the sample on the results of degassing is proposed. The experimental dependencies of sputtering ratio of carbon fiber reinforced plastic on the ions angle of incidents, ions fluency and fiber orientation, relative to plasma flow, are presented.

Keywords: space craft, composite materials, stationary plasma thruster, method of experiment, sputtering ratio.

© Надирадзе А. Б., Рахматуллин Р. Р., Кочура С. Г., Максимов И. А., Смирнов В. А., 2012

УДК 527.8

И. В. Нигруца, А. В. Гребенников, М. Ю. Казанцев

СИСТЕМА ПОСАДКИ ПО СИГНАЛАМ ПСЕВДОСПУТНИКОВ

Предложена и исследована методика применения локальной радионавигационной системы для обеспечения посадки воздушных судов, позволяющая подходить к решению вопросов топогеодезического обеспечения, гарантирующая их решение даже в условиях активного противодействия.

Ключевые слова: псевдоспутник, посадка летательного аппарата, ГЛОНАСС/GPS.

Применение глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS для посадки воздушных судов (ВС) ограничено несколькими факторами:

– достаточно высокой погрешностью определения координат и скорости ВС (от 1–2 до 6–10 м);

– низкой помехоустойчивостью навигационного оборудования, работающего по сигналам ГЛОНАСС и GPS.

Применение псевдоспутников (ПС), в системах посадки ВС позволяет решить проблему относительно высокой погрешности навигационных определений, а также повысить помехоустойчивость в условиях активного противодействия [1].

Здесь представлены результаты работы над созданием системы посадки ВС, выполненные в ФГУП «ГНПП «Радиосвязь» и Сибирском федеральном университете по заданию ООО «ВедаПроект», НПФ «Спектр» и концерна ПВО «Алмаз-Антей» [2].

Для обеспечения совместимости навигационного оборудования были использованы сигналы, аналогичные сигналам ГНСС. Разработанный ПС имеет выход на излучающую антенну для диапазона 1,2 ГГц (L2 GPS).

Уменьшение погрешности навигационных определений по сигналам ПС, по сравнению с ГНСС, до 0,05–0,1 м было достигнуто за счет отсутствия у ПС погрешностей, обусловленых распространением сигнала в ионосфере и тропосфере, а также эфемеридных

погрешностей (псевдоспутники находятся в состоянии покоя в заранее известных координатах).

В состав системы посадки ВС на основе ПС (рис. 1) входит контрольно-корректирующая станция (ККС) и псевдоспутники. ККС должна обеспечивать проверку сигнала, излучаемого ПС, и синхронизацию шкалы времени ПС.

В процессе выполнения работы был разработан состав и формат оперативной информации (ОИ) навигационного сообщения ПС. ОИ ПС состоит из информации, собранной из пяти строк оперативной информации (ОИ) навигационного сообщения ПС ГЛОНАСС (рис. 2).

Каждая строки ОИ ПС ГЛОНАСС включает код Хемминга (8 бит). Передача ЦИ от ПС для потребителя осуществляется старшими разрядами вперед (рис. 3–7).

Обозначения всех параметров, их размер, цена младшего разряда, диапазон значений соответствуют ИКД ГЛОНАСС (редакция 5.1), за исключением параметров, приведенных в таблице.

Параметры с диапозоном значений, не соответствующим ИКД ГЛОНАСС

Слово	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
t_b	32	1	0...4294967295	с
$\gamma_n(t_b)$	18	$2^{-40} \approx \pm 1 \cdot 10^{-12}$	$\pm 2^{-23} \approx \pm 1 \cdot 10^{-7}$	безразмерная
$x_n(t_b), y_n(t_b), z_n(t_b)$	31	$2^{-15} \approx \pm 3 \cdot 10^{-5}$	$\pm 3{,}2 \cdot 10^{4}$	км

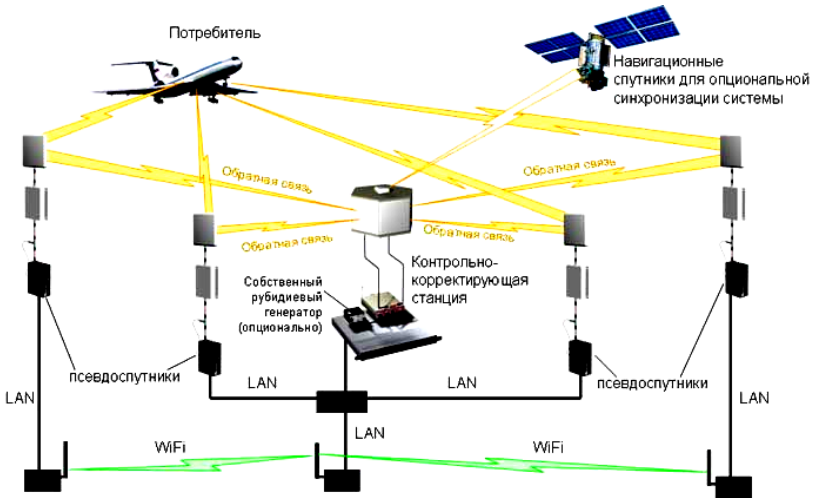


Рис. 1. Структура системы посадки ВС

Информация строки 1 ОИ ПС (10 байт)	КХ
Информация строки 2 ОИ ПС (10 байт)	КХ
Информация строки 3 ОИ ПС (10 байт)	КХ
Информация строки 4 ОИ ПС (10 байт)	КХ
Информация строки 5 ОИ ПС (10 байт)	КХ

Рис. 2. Формат оперативной информации навигационного сообщения ПС ГЛОНАСС

	1								2								3							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1		m (4 bits)				$x(t_b)$ (LSBs)			t_k (12 bits)								$\dot{x}(t_b)$ (MSBs)							
2	$\dot{x}(t_b)$ (LSBs) (21 bits)																$\ddot{x}(t_b)$ (MSBs)							
3	$\ddot{x}(t_b)$								$x(t_b)$ (MSBs) (19 bits)															
4	$x(t_b)$ (MSBs) (8 bits)																							

Рис. 3. Формат данных из строки 1 оперативной информации навигационного сообщения ПС

	1								2								3							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1		m (4 bits)				B_n (3 bits)				t_b (MSBs) (7 bits)							$y(t_b)$ (LSBs)					$\dot{y}(t_b)$ (MSBs)		
2	$\dot{y}(t_b)$ (LSBs) (21 bits)																					$\ddot{y}(t_b)$ (MSBs)		
3	$\ddot{y}(t_b)$								$y(t_b)$ (MSBs) (19 bits)															
4	$y(t_b)$ (MSBs) (8 bits)																							

Рис. 4. Формат данных из строки 2 оперативной информации навигационного сообщения ПС

	1								2								3							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1		m (4 bits)							$\gamma_n(t_b)$ (LSBs) (11 bits)								$z(t_b)$ (LSBs)					$\dot{z}(t_b)$ (MSBs)		
2	$\dot{z}(t_b)$ (LSBs) (21 bits)																					$\ddot{z}(t_b)$ (MSBs)		
3	$\ddot{z}(t_b)$								$z(t_b)$ (MSBs) (19 bits)															
4	$z(t_b)$ (MSBs) (8 bits)																							

Рис. 5. Формат данных из строки 3 оперативной информации навигационного сообщения ПС

	1								2								3							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1		m (4 bits)				$\tau_n(t_b)$ (LSBs) (19 bits)																		
2	$\tau_n(t_b)$				$\Delta\tau_n(t_b)$ (5 bits)				t_b (LSBs) (25 bits)															
3	t_b (LSBs) (25 bits)												N_T								n			
4	n (LSBs)																							

Рис. 6. Формат данных из строки 4 оперативной информации навигационного сообщения ПС

	1								2								3							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1		m (4 bits)				N^A (11 bits)											τ_c MSBs (8 bits)							
2	τ_c (24 bits)																							
3		N_4				$\gamma_n(t_b)$ (MSBs) (7 bits)				$\tau_n(t_b)$ (MSBs) (14 bits)														
4	$\tau_n(t_b)$				I_n																			

Рис. 7. Формат данных из строки 5 оперативной информации навигационного сообщения ПС

Разработанная локальная радионавигационная система навигации (ЛРНС) при посадке обеспечивает, в случае необходимости, смену маршрута из-за возникших обстоятельств, свободу в выборе траектории приближения к полосе. ВС направляются сигналами ПС, указывающими пилоту последовательность точек в трехмерном пространстве, через которые можно пойти на снижение [3].

Технология проектирования и практической реализации ЛРНС на сегодняшний день уже отработана, что позволяет применять ее для решения различных задач. Одной из наиболее перспективных и очевидных сфер применения ЛРНС является обеспечение посадки воздушных судов в условиях сложной помеховой обстановки, в том числе в условиях активного противодействия [4].

Использование для работы ПС сигналов систем ГЛОНАСС и GPS позволяет применять приемники сигналов данных СРНС с минимальной доработкой.

Процесс следования по маршруту прибытия для захода на посадку предполагает знание пилотом критериев пролета препятствий, выдерживания ограни-

чений по скорости, угла крена и других параметров, которые свойственны каждому участку [5].

Применение ПС для точного захода на посадку позволяет [6]:

1. Увеличить точность позиционирования до единиц метров, по сравнению со спутниковыми радионавигационными системами, за счет отсутствия у наземных станций эфемеридных и ионосферных погрешностей;

2. Увеличить мощность сигнала, что позволяет повысить устойчивость к средствам РЭБ;

3. Работать независимо от СРНС.

Пространственное разделение передающий антенны и передатчика позволяет сохранить ПС при уничтожении антенны.

За счет относительно невысокой стоимости имеется возможность создать группировки с большим количеством ПС, что сделает ее уничтожение экономически нецелесообразным.

Определение координат по сигналам ПС основано на измерении псевдодальностей. Взаимосвязь между измеряемыми и оцениваемыми параметрами определяется следующей системой уравнений:

$$r_i = \sqrt{(x_{ci} - x)^2 + (y_{ci} - y)^2 + (z_{ci} - z)^2} + c \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

где r_i – измеренная псевдодальность до i-го ПС; $\Delta\tau$ – расхождение шкалы времени приемной аппаратуры и шкалой времени ПС; c – скорость света; x, y, z – координаты ЛА; x_{ci}, y_{ci}, z_{ci} – координаты ПС; n – число наблюдаемых ПС; $i = \overline{1,n}$.

Данная система уравнений является нелинейной, ее решение сводится к решению эквивалентной задачи поиска экстремума функции:

$$J(x,y,z) = \sum_{i=1}^{n} f_i(x,y,z)^2 \to \min_{x,y,z}, \quad (2)$$

где

$$f_i(x,y,z) = r_i - \sqrt{(x_{ci} - x)^2 + (y_{ci} - y)^2 + (z_{ci} - z)^2} + c \cdot \Delta\tau.$$

В данном случае, точка, где достигается минимум функции, соответствует решению уравнения (1). В силу специфики решения задачи определения координат ЛА при заходе на посадку все ПС оказываются расположенными, практически, в одной плоскости. Поэтому при решении задачи минимизации функции (2) могут возникнуть проблемы со сходимостью, связанные с влиянием геометрии расположения ПС. В данном случае, выбор метода решения уравнения (2) является одним из важных составляющих процесса обработки информации в системе посадки ЛА.

При создании ЛРНС псевдоспутники могут устанавливаться в точках с известными координатами, например, на пунктах Государственной геодезической сети (ГГС) и объединяться в сети. Наиболее перспективными являются MESH-сети, способные работать не только по схеме точка-точка, но и самоорганизовываться в интеллектуальную структуру, использующую каждый элемент сети для адресной ретрансляции данных. Таким образом, появляется возможность оперативного воздействия на все элементы системы, что позволяет разрабатывать и реализовывать огромное разнообразие алгоритмов управления.

Цель разработки данного прототипа не только в обеспечении посадки воздушных судов на ВПП, а также в использовании системы в условиях необорудованных ВПП, вертолетных площадок, авианосцев. Точность, универсальность и мобильность подобных ЛРНС позволяет обеспечить безопасность при заходе на посадку в месте развертывания.

Библиографические ссылки

1. Вопросы аэронавигации. URL: http://www2.icao.int/en/home/default.aspx (дата обращения: 1.12.2011).

2. Проект «Псевдоспутник». URL: http://www.vedapro.ru/pseudo.php (дата обращения: 1.12.2011).

3. Системы заходов на посадку. URL: http://training.unnt.ru/docs/files/ApproachTypes.pdf (дата обращения: 1.12.2011).

4. Wang J. Pseudolite Applications in Positioning and Navigation: Progress and Problems. Standford University // J. of Global Positioning Systems. 2002. Vol. 1. № 1. P. 48–56.

5. Микоян С. А., Корбут А. Г. Заход на посадку по приборам. М. : Воениздат, 1979.

6. Использование псевдоспутников группировки ГЛОНАСС/GPS в системах посадки воздушных судов / В. А. Борсоев, Р. Г. Галеев, А. В. Гребенников, А. С. Кондратьев // Вестник МГТУ ГА. 2011. № 164. С. 17–24.

I. V. Nigruca, A. V. Grebennikov, M. Yu. Kazantsev

AIRCRAFT LANDING SYSTEM BASES ON PSEUDO SATELLITES SIGNALS

The authors present and investigate a method, based on the use of local radio-navigation system, providing landing of aircraft, and making it possible to solve problems of topo-geodesic control , ensuring guaranteed solution of these problems even in conditions of active thrust.

Keywords: pseudo satellite, AV landing, GLONASS/GPS.

© Нигруца И. В., Гребенников А. В., Казанцев М. Ю., 2012

УДК 681.518.3

А. И. Олейник

МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕТА МАНЕВРЕННОГО САМОЛЕТА

Рассматриваются способы и алгоритмы определения аэродинамических параметров полета высокоманевренного самолета на произвольных углах атаки и скольжения. Данный метод предполагает измерение поля давлений самолета с помощью многодырочных приемников давлений и обработку полученной информации оптимальными алгоритмами на основе разработанной математической модели давлений.

Ключевые слова: воздушное давление; аэродинамические параметры; маневренный самолет.

Вычисление высотно-скоростных параметров (ВСП) полета самолета в современных бортовых системах осуществляется на основании измерения аэродинамических параметров полета: статического $P_{\text{СТ}}$ и полного $P_{\text{П}}$ давлений, углов атаки α и скольжения β. От точности определения аэродинамических параметров зависит точность вычисления ВСП. Традиционно статическое и полное давления определяются с помощью приемников воздушных давлений (ПВД), а углы атаки и скольжения соответствующими датчиками. Такому способу определения первичной информации присущи погрешности, свойственные барометрическому методу: аэродинамические погрешности, отклонение параметров атмосферы от стандартных, неточность ввода заданного давления, динамические погрешности [1].

На самолетах 4-го поколения наиболее распространенными датчиками углов α и β являются флюгерные датчики, расположенные либо на выносных штангах, либо непосредственно на фюзеляже самолета. Датчикам данного типа характерны существенные недостатки, в числе которых ограниченный диапазон измерения улов [1].

Указанные недостатки существующего подхода определения аэродинамических параметров обуславливают значительные погрешности вычисления ВСП на борту летательного аппарата (ЛА). Особенно это сказывается на больших углах атаки и скольжения, когда полученные значенияаэродинамических параметров значительно отличаются от истинных значений. Данный факт существенно ограничивает диапазон измерения аэродинамических параметров полета самолета.

Отличительными особенностями современного этапа развития военной авиации являются как все увеличивающиеся скорости, дальность и высота полета, так и большие – до $110-120°$ – углы атаки. Переход к полетам самолета на больших углах атаки и скольжения, повышенные требования к точности и отказобезопасности требуют основательного пересмотра всей концепции измерения аэродинамических параметров на борту ЛА.

Рассмотрен новый метод определения истинных значений аэродинамических параметров полета, основанный на измерении поля давлений ЛА. Основу метода составляют алгоритмы комплексной обработки первичной информации, построенные с использованием кинематических связей между измеряемыми воздушными давлениями P_i и параметрами полета. В качестве первичной информации используются измерения поля давления вокруг самолета. Давление в i-й точке поля является функцией значений аэродинамических параметров. Восстановление оценок аэродинамических параметров основано на применении математической модели давлений на выходе датчиков давлений. Эта модель была разработана на основе теории обтекания тела известной геометрической формы идеальной жидкостью (газом) [2]. При этом давление на выходе датчика давления должно соответствовать давлению на фюзеляже в той же точке.

Для измерения поля давлений ЛА возможно применение многодырочных ПВД (рис. 1, где 1, 2, 3, 4, 5, 6 – номера приемных отверстий).

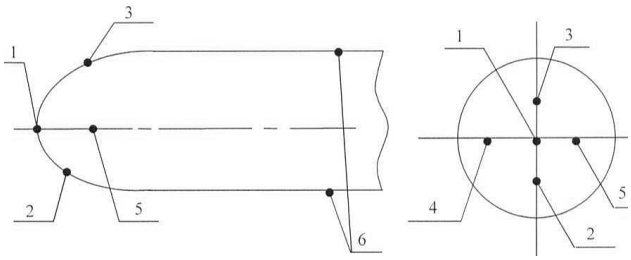


Рис. 1. Многодыочный универсальный ПВД

Давление в приемном отверстии ПВД является функцией местных значений статического $P_{\text{СТ}_\text{М}}$ и полного $P_{\text{П}_\text{М}}$ давлений, местных аэрометрических углов $\alpha_\text{М}, \beta_\text{М}$, зависящих от расположения ПВД на борту ЛА [2]:

$$P_{ij} = P_{\text{П}_{\text{М}j}}\left(1 - F_{ij}\right) + P_{\text{СТ}_{\text{М}j}} F_{ij}, \qquad (1)$$

где P_{ij} – давление в i-м отверстии j-го ПВД, $i = \overline{1,6}$, $j = \overline{1,4}$;

$$F_{ij} = B_{ij}^1 \cos^2 \alpha_{\text{М}j} \cos^2 \beta_{\text{М}j} + B_{ij}^2 \sin^2 \alpha_{\text{М}j} \cos^2 \beta_{\text{М}j} +$$
$$+ B_{ij}^3 \sin^2 \beta_{\text{М}j} + B_{ij}^4 \sin \alpha_{\text{М}j} \cos \alpha_{\text{М}j} \cos^2 \beta_{\text{М}j} +$$
$$+ B_{ij}^5 \cos \alpha_{\text{М}j} \sin \beta_{\text{М}j} \cos \beta_{\text{М}j} + B_{ij}^6 \sin \alpha_{\text{М}j} \sin \beta_{\text{М}j} \cos \beta_{\text{М}j} -$$

функция, конкретный вид которой определяется типом ПВД и координатами расположения отверстий на насадке приемника; B_{ij}^{k}, $k=\overline{1,6}$ – коэффициенты для i-го датчика давления.

Так называемые местные значения углов атаки и скольжения, статического и полного давлений обусловлены тем, что ПВД находится в возмущенном потоке.

Таким образом, задача определения истинных значений аэродинамических параметров полета ЛА состоит из двух этапов. На первом этапе по измеренным значениям давлений в приемных отверстиях ПВД определяются местные значения статического $P_{\text{СТ}_\text{М}}$ и полного $P_{\text{П}_\text{М}}$ давлений, аэрометрических углов $\alpha_\text{М},\beta_\text{М}$. Второй этап связан с пересчетом местных значений параметров потока в истинные значения аэрометрических параметров.

Для вычисления местных значений $P_{\text{П}_\text{М}}, P_{\text{СТ}_\text{М}}, \alpha_\text{М}, \beta_\text{М}$ необходимо знать минимум четыре значения давлений. С учетом дискретного характера измерений совокупность уравнений (1) в векторной форме можно представить в виде

$$\mathbf{Z}(t_k)=\mathbf{h}\left[\mathbf{x}(t_k)\right]+\vartheta(t_k), \qquad (2)$$

где $\mathbf{x}^T(t)=\left(P_{\text{П}_\text{М}}, P_{\text{СТ}_\text{М}}, \alpha_\text{М}, \beta_\text{М}\right)$ – вектор искомых переменных; $\mathbf{h}\left[\mathbf{x}(t_k)\right]$ – векторозначная функция; $\mathbf{Z}(t_k)=[Z_i(t_k)], i=\overline{1,4},\ k=1,2,3...$ – вектор измерений; $Z_i(t_k)=P_i(t_k)=P_{\text{П}_\text{М}}(t_k)\left[1-F_i(t_k)\right]+P_{\text{СТ}_\text{М}}(t_k)F_i(t_k)+$ $+\vartheta_i(t_k)$ – значение давления на выходе датчика, соединенного с i-м приемным отверстием ПВД (1); $F_i(t_k)=f(\alpha_\text{М},\beta_\text{М},B_i)$ – координатная функция (1); $\vec{\vartheta}(t_k)$ – случайный вектор ошибок измерения типа «белого» шума.

Детальный учет всех факторов показал, что реальный процесс можно аппроксимировать дифференциальным уравнением вида

$$\dot{\mathbf{x}}(t)=\xi_x(t), \qquad (3)$$

где $\mathbf{x}^T(t)=\left(P_{\text{П}_\text{М}}, P_{\text{СТ}_\text{М}}, \alpha_\text{М}, \beta_\text{М}\right)$ – вектор фазовых координат; $\vec{\xi}_x^T(t)=\left(\xi_{\text{П}_\text{М}}, \xi_{\text{СТ}_\text{М}}, \xi_\alpha, \xi_\beta\right)$ – вектор возмущений, воздействующих на объект, представляющий собой случайный процесс, распределенный по нормальному закону с параметрами:

$$\mathbf{M}\left[\xi_x(t_i)\right]=0;\ \mathbf{M}\left[\xi_x(t_i),\xi_x^T(t_j)\right]=\mathbf{Q}_x(t_j)\delta(t_i-t_j),$$

где $\mathbf{Q}_x=(\xi_{\text{P}_\text{П}}, \xi_{\text{P}_\text{СТ}}, \xi_\alpha, \xi_\beta)$ – матрица погрешностей оценок.

Учитывая дискретный и случайный характер ошибок измерения давлений (2) для вычисления местных значений аэродинамических параметров, наиболее целесообразно использовать методы оптимального статистического оценивания [3].

Задачу определения оценок местных значений аэродинамических параметров сформулируем в виде задачи оптимального оценивания. Требуется по наблюдениям в дискретные моменты времени $z(t_1), z(t_2), ...$ найти оценку вектора $\mathbf{x}(t)$. При этом полагаем, что начальное состояние системы определяется нормальным случайным вектором $\mathbf{x}(t_0)\in\mathbf{N}(\overline{\mathbf{x}}_0,\mathbf{P}_0)$, где $\overline{\mathbf{x}}_0,\mathbf{P}_0$ – априорное математическое ожидание и корреляционная матрица вектора $\mathbf{x}(t_0)$.

В соответствии с [3] и с учетом выражений (2) и (3) дискретный алгоритм вычисления оценки вектора $\mathbf{x}(t)$ определяется следующей совокупностью рекуррентных уравнений:

1. Априорные данные

$$\mathbf{M}\left[\mathbf{x}_0\right]=\overline{\mathbf{x}}_0;\ \mathbf{M}\left[\xi_x(t_k),\xi_x^T(t_j)\right]=0;$$
$$\mathbf{M}\left[\xi_x(t_k),\xi_x{}^T(t_e)\right]=\mathbf{Q}_x\delta(k-e);$$
$$\mathbf{M}\left[\vartheta(t_k)\right]=0;\ \mathbf{M}\left[\vartheta(t_k),\vartheta^T(t_e)\right]=\mathbf{R}_\vartheta\delta(k-e);$$
$$\mathbf{M}\left[\xi_x(t_k),\vartheta^T(t_e)\right]=\ \mathbf{M}\left[\xi_x(t_k),\mathbf{x}^T(t_e)\right]=$$
$$=\mathbf{M}\left[\vartheta^T(t_k),\mathbf{x}^T(t_e)\right]=0.$$

2. Вычисление одношагового прогноза

$$\overline{\mathbf{x}}(t_{k+1})=\hat{\mathbf{x}}(t_k). \qquad (4)$$

3. Расчет матрицы наблюдений

$$\mathbf{H}_{k+1}=\frac{\partial\mathbf{h}\left[\overline{\mathbf{x}}(t_{k+1})\right]}{\partial\overline{\mathbf{x}}(t_{k+1})}. \qquad (5)$$

4. Определение корреляционной матрицы ошибки прогноза

$$\mathbf{P}_{k+1}=\mathbf{V}_k+\mathbf{Q}_x, \qquad (6)$$

где $\mathbf{V}_k$ – ковариационная матрица ошибок оценивания.

5. Вычисление коэффициента усиления

$$\mathbf{K}_{k+1}=\mathbf{P}_{k+1}\mathbf{H}_{k+1}\left[\mathbf{H}_{k+1}\mathbf{P}_{k+1}\mathbf{H}_{k+1}^T+\mathbf{R}\right]^{-1}, \qquad (7)$$

где $\mathbf{R}=diag\left(\sigma_i^2\right),\ i=\overline{1,4}$ – дисперсионная матрица ошибок измерения.

6. Вычисление ковариационной матрицы ошибок оценивания

$$\mathbf{V}_{k+1}=\left[\mathbf{K}_{k+1}\mathbf{H}_{k+1}-\mathbf{E}\right]\mathbf{P}_{k+1}\left[\mathbf{K}_{k+1}\mathbf{H}_{k+1}-\mathbf{E}\right]^T+ \\ +\mathbf{K}_{k+1}\mathbf{R}\mathbf{K}_{k+1}^T, \qquad (8)$$

где $\mathbf{E}$ – единичная матрица.

7. Алгоритм оценки

$$\hat{\mathbf{x}}(t_{k+1})=\overline{\mathbf{x}}(t_{k+1})+\mathbf{K}_{k+1}\left\{\mathbf{Z}(t_{k+1})-\mathbf{h}\left[\overline{\mathbf{x}}(t_{k+1})\right]\right\}. \qquad (9)$$

Алгоритм второго этапа должен обеспечить пересчет полученных на первом этапе местных значений аэрометрических параметров в истинные значения.

В основе алгоритма лежит связь местных значений аэрометрических углов $\alpha_{\text{М}}, \beta_{\text{М}}$ и воздушной скорости $V_{\text{М}}$ с истинными значениями воздушной скорости полета V, углов атаки α и скольжения β [2]. Известными величинами являются $V_{\text{М}}$, $\alpha_{\text{М}}, \beta_{\text{М}}$. Значение местной воздушной скорости $V_{\text{М}}$ определяются как функция местного статического $P_{\text{СТ}_{\text{М}}}$ и местного динамического давлений $P_{\text{Д}_{\text{М}}}$ по известным гипсометрическим формулам [1].

С учетом направляющих косинусов и влияния вращения самолета на значение суммарной местной воздушной скорости $V_{\text{М}}$ при нулевом балансировочном положении переднего горизонтального оперения, связь между параметрами вычисляется по следующим выражениям [2]:

$$\begin{aligned} V_{\text{М}_x} &= V_{\text{М}} \cos\alpha_{\text{М}} \cos\beta_{\text{М}} + \omega_y z - \omega_z y = \\ &= V\left(A_{11}\cos\alpha\cos\beta - A_{12}\sin\alpha\cos\beta + A_{13}\sin\beta\right), \\ V_{\text{М}_y} &= -V_{\text{М}} \sin\alpha_{\text{М}} \cos\beta_{\text{М}} + \omega_z x - \omega_x z = \\ &= V\left(A_{21}\cos\alpha\cos\beta - A_{22}\sin\alpha\cos\beta + A_{23}\sin\beta\right), \\ V_{\text{М}_z} &= V_{\text{М}} \sin\beta_{\text{М}} + \omega_x y - \omega_y x = \\ &= V\left(A_{31}\cos\alpha\cos\beta - A_{32}\sin\alpha\cos\beta + A_{33}\sin\beta\right), \end{aligned} \tag{10}$$

где $V_{\text{М}_x}$, $V_{\text{М}_y}$, $V_{\text{М}_z}$ – составляющие суммарной местной скорости $V_{\text{М}}$; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые скорости вращения самолета вокруг центра тяжести; x, y, z – координаты установки ПВД на ЛА в связанной системе координат; $A_{ij}, i = 1,2,3, j = 1,2,3$ – постоянные коэффициенты, зависящие от координат точки, находящейся на поверхности обтекаемого тела (координат ПВД), выражения для которых определяются в соответствии с моделью давлений [2].

Для решения системы (4) относительно неизвестных параметров возможны аналогичные методы, что и для этапа вычисления местных значений параметров полета. Поэтому в целях унификации алгоритмического обеспечения на борту ЛА в данной работе предлагается для решения системы (4) воспользоваться методами нелинейной фильтрации [3].

Модель объекта представим в виде векторного процесса

$$\mathbf{y}^T(t) = (V, \alpha, \beta) \ , \tag{11}$$

удовлетворяющего следующему линейному стохастическому уравнению:

$$\dot{\mathbf{y}}(t) = \boldsymbol{\xi}_y(t), \tag{12}$$

где $\boldsymbol{\xi}^T{}_y = \left(\xi_V, \xi_\alpha, \xi_\beta\right)$ – случайный векторный процесс типа «белого». Характеристики вектора $\boldsymbol{\xi}_y$ выбираются экспериментально.

Для построения модели наблюдений процесса $\vec{\mathbf{y}}(t)$, целесообразно определить аналитические выражения, связывающие местные значения параметров потока с истинными значениями V, α, β. Для этого воспользуемся системой (4) и аналитическими зависимостями [1]:

$$\begin{aligned} \varphi_1 = \alpha_{\text{М}} &= \operatorname{arctg} \frac{\begin{array}{c}\omega_z x - \omega_x z - V \times \\ \times\left(A_{21}\cos\alpha\cos\beta - A_{22}\sin\alpha\sin\beta + A_{23}\sin\beta\right)\end{array}}{\begin{array}{c}\omega_z y - \omega_y z + V \times \\ \times\left(A_{11}\cos\alpha\cos\beta - A_{12}\sin\alpha\cos\beta + A_{13}\sin\beta\right)\end{array}}; \\ \varphi_2 = \beta_{\text{М}} &= \arcsin \frac{\begin{array}{c}\omega_y x - \omega_x y + V \times \\ \times\left(A_{31}\cos\alpha\cos\beta - A_{32}\sin\alpha\sin\beta + A_{33}\sin\beta\right)\end{array}}{\sqrt{V_{\text{М}_x}^2 + V_{\text{М}_y}^2 + V_{\text{М}_z}^2}}; \\ \varphi_3 &= V_M = \sqrt{V_{\text{М}_x}^2 + V_{\text{М}_y}^2 + V_{\text{М}_z}^2} \ . \end{aligned} \tag{13}$$

Представим систему (13) в векторной форме

$$\mathbf{z}(t_k) = \varphi\left[\mathbf{y}(t_k)\right] + \vartheta_y(t_k), \tag{14}$$

где $\varphi\left[\mathbf{y}(t_k)\right]$ – вектор правых частей системы (14); $\mathbf{z}(t_k) = [z_i(t_k)]$, $i = \overline{1,4}$, $k = 1,2,3...$ – вектор измерений; $\vartheta^T{}_y(t_k) = \left(\vartheta_{\alpha_{\text{М}}}, \vartheta_{\beta_{\text{М}}}, \vartheta_{V_{\text{М}}}\right)$ – случайный интегрированный вектор, распределенный по нормальному закону $\mathbf{N}(0, \mathbf{V}_1)$; $\mathbf{V}_1$ – дисперсионная матрица ошибок оценивания.

Сформулируем задачу оптимального оценивания истинных значений параметров полета ЛА. Требуется по наблюдениям в дискретные моменты времени $z(t_1), z(t_2), ...$ (14) найти оценку вектора $\mathbf{y}(t)$ (12).

Для проверки работоспособности предложенных алгоритмов выполнено численное моделирование для современного высокоманевренного самолета.

Совокупность уравнений (1) и (10) образует измерительную систему.

Значения элементов матрицы $\mathbf{R}_\vartheta$ выбирались исходя из характеристик реальных процессов: $\sigma_i = 0,2$ мм рт. ст., $i = \overline{1,4}$. Модель объекта оценивания описывается уравнением (3). Элементы матрицы $\mathbf{Q}_x$ равны: $\xi_{\text{Р}_\text{П}} = \xi_{\text{Р}_\text{СТ}} =$ 0,4 мм рт. ст., $\xi_\alpha = \xi_\beta = 0,1^\text{o}$.

Результаты моделирования первого этапа для $P_{\text{СТ}_{\text{М}}}$ приведены на рис. 2. Из представленных материалов следует, что оценки имеют хорошую сходимость, величина ошибки по уровню 3σ меньше исходных ошибок измерения давления.

Проверка алгоритма вычисления истинных значений представлена на рис. 3, где показан процесс изменения ошибок оценивания V при движении самолета. Здесь же приведены графики доверительных интервалов ошибок оценивания по уровню 3σ.

Приведенные результаты моделирования подтверждают, что разработанные алгоритмы оценивания

значений параметров полета устойчивы, имеет хорошую сходимость и приемлемую точность вычислений.

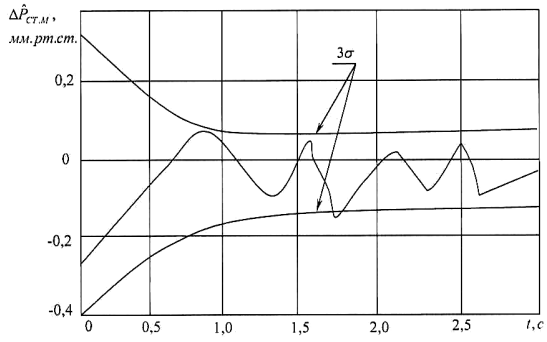


Рис. 2. Изменение ошибки оценивания местного статического давления

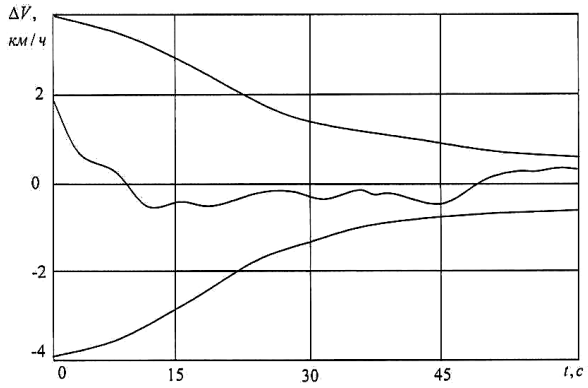


Рис. 3. Изменение ошибки оценивания скорости полета

Таким образом, предложенный метод вычисления аэродиначеских параметров полета самолета позволяет выполнять измерения практически в любом диапазоне изменения углов атаки и скольжения. Это объясняется тем, что мы не измеряем изначально некоторые условные значения статического $P_{СТ}$ и полного $P_{П}$ давлений, углов атаки α и скольжения β в качестве первичной информации, а вычисляем их на основании измеренных давлений в заданных точках поля давлений ЛА. Измерение давлений P_i может выполняться практически при любом маневре самолета.

Повышение точности измерения давлений P_i и, соответственно, вычислений аэродиначеских параметров связано с развитием двух направлений. Первое направление предполагает увеличение достоверности моделей (1), (4) методами параметрической идентификации по результатам летных испытаний.

Второе направление связано с выбором места расположения датчиков давлений на борту самолета. Это обусловлено тем, что ПВД на борту самолета находятся в возмущенном потоке воздуха, что влияет на точность измерения первичной информации. Оптимизация координат установки датчиков давлений на борту самолета, возможность размещения датчиков измерения постоянного давления в сечении фюзеляжа осуществляется методами компьютерного моделирования с использованием математической модели обтекания самолета, базирующейся на методе дискретных вихрей. Эти датчики имеют весьма незначительные размеры и могут располагаться внутри фюзеляжа, что улучшает общую картину аэродинамики.

Дальнейшие исследования рассмотренного подхода связаны с проведением большого объема численных и полунатурных экспериментов, а также с совершенствованием численных методов расчета аэродинамических характеристик ЛА.

Библиографические ссылки

1. Авиационные приборы и системы : учеб. пособие / Г. И. Клюев [и др.] ; под ред. В. А. Мишина. Ульяновск : УлГТУ, 2000.

2. Олейник А. И. Математическая модель давлений в приемных отверстиях пневмотрактов // Управление, контроль, диагностика. 2010. № 8.

3. Kalman R. E., Busy R. C. New result in linear prediction and filtering theory // J. Basic Eng. 1961.

A. I. Oleynik

METHOD OF EXPANSION OF A RANGE OF MEASUREMENT OF AERODYNAMIC PARAMETERS OF FLIGHT OF A MANEUVERING PLANE

In the work the author considers ways and algorithms of definition of aerodynamic parameters of flight of a maneuvering plane on any angles of attack and sliding. The given method assumes to measure a field of pressure of the plane by means of multi-hole receivers of pressure and processing of the received information with optimum algorithms, on the basis of the developed mathematical model of pressure.

Keywords: air pressure, aerodynamic parameters, the maneuverable plane.

© Олейник А. И., 2012

УДК 62.567.5

Р. Н. Хамитов, Г. С. Аверьянов, А. А. Перчун

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВУХОБЪЕМНОГО ПНЕВМОАМОРТИЗАТОРА С ПОВЫШЕННЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ

Проведен анализ процессов, обуславливающих диссипацию энергии в двухобъемных пневмоамортизаторах полуактивного типа. Показано, что путем управления процессами перетекания газа между объемами двухкамерного ПА можно существенно улучшить его демпфирующие свойства по сравнению с пассивными ПА. Приведены предельные значения коэффициента поглощения энергии колебаний (до 0,75…0,85) при различных режимах коммутации электроклапана пневмоамортизатора.

Ключевые слова: кратковременная коммутация объемов, режим работы пневмоамортизатора, демпфирование колебаний.

Использование пневматических амортизаторов (ПА) с резинокордными оболочками (РКО) в качестве упруго-демпфирующих элементов систем амортизации амортизируемых объектов (АО), в том числе стартовых ракетных комплексов, стимулировало создание нового способа демпфирования колебаний, за счет введенияуправления упругодемпфирующими характеристиками ПА. Применение пассивных ПА однокамерного типа обеспечивает коэффициент поглощения энергии колебаний порядка η_w = 0,1…0,15 в зависимости от типа ПА и РКО, использование пассивных ПА многокамерного типа с дросселированием обеспечивает коэффициент поглощения энергии колебаний порядка η_w = 0,4…0,6, что является недостаточным для амортизируемых крупногабаритных объектов [1].

Анализ демпфирования колебаний в ПА с позиции термодинамики необратимых процессов показывает, чтокаждый объем ПА может рассматриваться как открытая система с точки зрения обмена массой и внутренней энергией с другим объемом. Такой обмен, в случае применения дроссельных устройств, происходит непрерывно, а в случае применения клапанных устройств – только в определенные промежутки времени периода колебаний АО. Для таких систем теплота dQ, подведенная к газу любого объема ПА из внешней среды, может быть определена следующим образом:

$$dQ = dU - dL - Idm, \qquad (1)$$

где U – общая внутренняя энергия объема ПА; $L = PdV$ – обратимая работа деформации рабочего объема ПА; I – удельная энтальпия газа в объеме ПА; dm – бесконечно малое увеличение массы газа в объеме ПА.

При любом изменении термодинамического состояния газа в объемах ПА энтропию газа можно разделить на две части:

$$dS = dS_1 + dS_2, \qquad (2)$$

где dS_1 – изменение энтропии газа в объемах ПА вследствие массообмена между объемами ПА и теплообмена с окружающей средой; dS_2 – приращение энтропии за счет процессов перетеканияи смешивания газов в объемах ПА.

Последнее уравнение можно переписать в виде баланса энтропии:

$$dS/dt = dS_1/dt + dS_2/dt, \qquad (3)$$

где dS_1/dt – поток энтропии; dS_2/dt – производство энтропии.

Используя для каждого объема ПА обобщенное уравнение Гиббса

$$TdS = dU + PdV - jdm, \qquad (4)$$

где j – термодинамический потенциал газа, после преобразования можно получить выражение для производства энтропии:

$$dS_2/dt = [(dQ_1/dt + jdm/dt)\,(1/T_р - 1/T_д) - dm/dt\,(j_р/T_р - j_д/T_д)], \qquad (5)$$

где dQ_1 – тепловой поток между объемами ПА; $T_р$, $T_д$ – абсолютные температуры газов в рабочем и дополнительном объемах ПА.

Согласно уравнению (5), для производства энтропии в объемах ПА за счет необратимых внутренних процессов перетекания и смешивания газов, необходимо создать наибольшую разность отношений термодинамических потенциалов к абсолютным температурам. Таким образом, улучшение демпфирующих свойств ПА можно достичь соединением объемов ПА в моменты времени, соответствующие наибольшей разности термодинамических потенциалов газов, отнесенных к их абсолютным температурам.

Сформулированным требованиям наиболее полно удовлетворяет ПА с электроклапаном, установленным в перегородке между рабочим и дополнительным объемами [2–5]. Данные ПА относится к устройствам пассивного типа с управляемыми параметрами полуактивного типа. Рассмотрим физические процессы, обуславливающиедиссипацию энергии в ПА с РКО полуактивного типа с управлением процессами перетекания газа между объемами ПА с коммутацией электроклапана только на ходе отбоя за один период свободных колебаний АО (рис. 1, кривая 1). Управление работой электроклапана ПА осуществляется системой управления, содержащей преобразователь линейных перемещений [6]. Схемы ПА (рис. 2 и 3) показаны при статическом положении и в крайних положениях первого периода колебаний АО, имеющих наибольшие амплитуды колебаний (ниже даны термодинамические параметры газа при каждом положе-

нии АО за первый период колебаний АО при экспериментальных исследованиях варианта ПА с β = 1,5 и АО с массой m = 150 кг). Экспериментальные исследования проводились на специально разработанном стенде [7], исследовался ПА на базе РКО И-10.

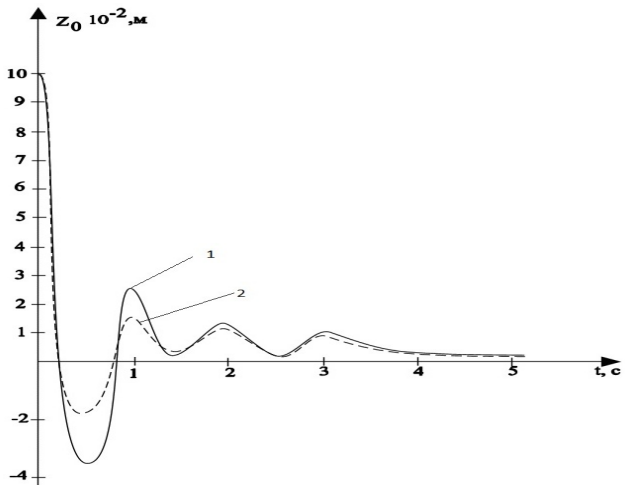


Рис. 1. Кривые свободных колебаний:
1 – режим коммутации электроклапана на ходе отбоя, 2 – режим коммутации электроклапана на ходах сжатия и отбоя

Коэффициент $\beta^* = \dfrac{V_д}{V_{р0}}$ равен отношению объемов ПА при статическом положении АО: постоянного объема дополнительного пневмоэлемента $V_д$ и переменного объема рабочего пневмоэлемента $V_{р0}$.

Значение температуры газа $T_1 = T_0$ (рис. 2, положение 1). При движении АО вниз объемы ПА сообщены, при этом рабочий объем уменьшается. Состояние термодинамической системы изменяется (рис. 2, положение 2), при этом повышаются давление в объемах ПА до значения P_2 и температура – до значения T_2. Подведенная работа равна площади под кривой 1–2 на рабочей диаграмме (рис. 4). Величина работы сжатия определяется из следующего выражения [8]:

$$L_{сж} = RM\,(T_2 - T_1)/(k - 1). \qquad (6)$$

АО останавливается (рис. 2, положение 2), и за счет накопленной энергии сжатого газа ПУЭ начинается ход отбоя, при этом дополнительный объем закрывается, и часть массы газа изолируется (рис. 2, положение 2′). При движении АО до положения 3 (рис. 2) работу над АО совершает сжатый газ, при этом рабочий объем увеличивается, давление газа в нем падает до значения P_3, что приводит к уменьшению температуры до значения T_3. Подведенная к АО работа равна площади под кривой 2–3 на рабочей диаграмме (рис. 5). Величина работы расширения определяется по следующему выражению [8]:

$$L_{расш} = Rm_3^*\,(T'_2 - T_3)/(k - 1). \qquad (7)$$

В начале следующего хода сжатия (рис. 2, положение 3′) объемы ПА снова сообщаются, происходит перемешивание газа с различными параметрами, что ведет к росту давления до значения P'_3 и температуры до значения T'_3, увеличению упругой силы, направленной против движения АО. Следующий ход сжатия за счет этого снижается (рис. 1, кривая 1).

Диссипация энергии за первый период колебаний АО будет равна разности работ сжатия $L_{сж1}$ и расширения $L_{расш1}$:

$$\Delta W_1 = L_{сж1} - L_{расш1}. \qquad (8)$$

Полная энергия диссипации за все время работы ПА в режиме затухающих колебаний равна сумме потерь энергии всех колебаний и потерь энергии в РКО:

$$\Delta W_\Sigma = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_{рк}. \qquad (9)$$

Потери энергии в РКО за время свободных колебаний определялось по методике [9] и равны в нашем случае $\Delta W_{рк}$ = 20 Дж. Значение работ сжатия и расширения, потери энергии на первом периоде колебаний составляют

$$L_{сж1} = RM\,(T_2 - T_1)/(k - 1) =$$
$$= 287 \cdot 0{,}088\,(295{,}5 - 293)/\,0{,}41 = 154 \text{ Дж};$$
$$L_{расш1} = Rm_3^*\,(T'_2 - T_3)/(k - 1) =$$
$$= 287 \cdot 0{,}025\,(295{,}5 - 293)/\,0{,}41 = 44 \text{ Дж};$$
$$\Delta W_1 = L_{сж1} - L_{расш1} = 154 - 44 = 110 \text{ Дж}.$$

Значение этих параметров других периодов колебаний (2-м и 3-м) определялись аналогично. Полная энергия диссипации за все время работы ПА в режиме затухающих колебаний:

$$\Delta W_\Sigma = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_{рк} =$$
$$= 110 + 7{,}2 + 3{,}25 + 20 = 140{,}45 \text{ Дж}. \qquad (10)$$

Рассчитаем изменения потенциальной энергии АО за время работы ПА:

$$\Delta W_п = Mg\,(Z_1 - Z_{ост}) =$$
$$= 150 \cdot 9{,}81 \cdot (0{,}1 - 0{,}004) = 141{,}3 \text{ Дж}. \qquad (11)$$

Таким образом, полная энергия диссипации в ПА соответствует изменению потенциальной энергии системы, что подтверждает точность расчетов термодинамических параметров. Значение коэффициента поглощения энергии колебаний ПА определяется как энергия затухания за один цикл колебаний ΔW_1 к максимальному значению потенциальной энергии системы W [10] и равно

$$\eta_w = \Delta W_1 / W = \Delta W_1 / MgZ_1 =$$
$$= 110 / 150 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}1 = 110/147 = 0,\,75. \qquad (12)$$

Улучшить демпфирующие свойства ПА можно при создании перепада давления между объемами ПА не только на ходе отбоя, но и на ходе сжатия. При таком управлении дополнительный объем включается в работу кратковременно в начале каждого хода сжатия и отбоя.

Рассмотрим физические процессы, обуславливающие диссипацию энергии в ПА полуактивного типа с управлением процессами перетекания газа между объемами ПА с коммутацией электроклапана на ходах сжатия и отбоя за один период свободных колебаний АО (рис. 1, кривая 2). Схемы ПА (рис. 6 и 7) показаны при статическом положении и в крайних положениях первого периода колебаний АО, имеющих наибольшие амплитуды колебаний (ниже даны термодинамические параметры газа при каждом положении АО за первый период колебаний АО при экспериментальных исследованиях варианта ПА и АО с массой m = 150 кг).

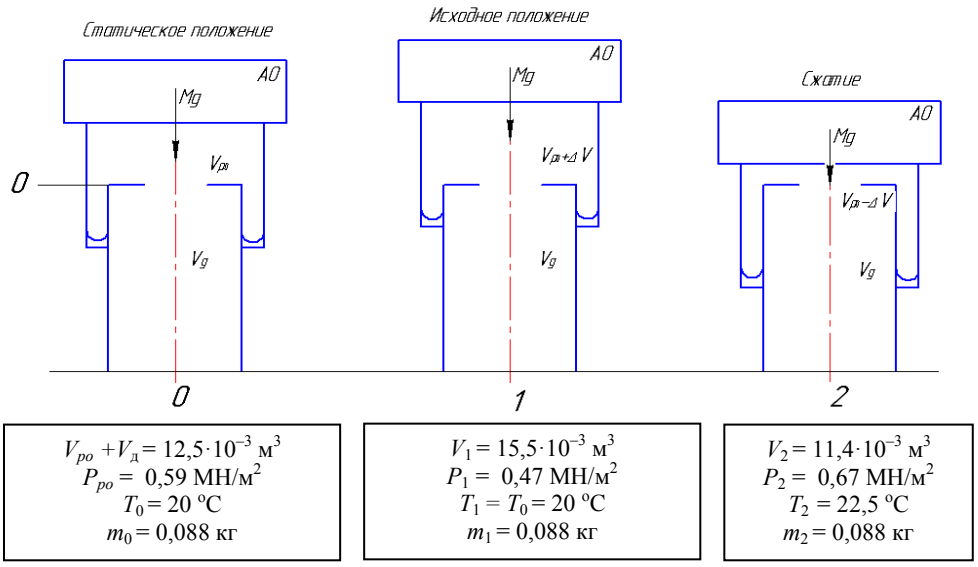


Рис. 2. Положение АО за первый полупериод свободных колебаний

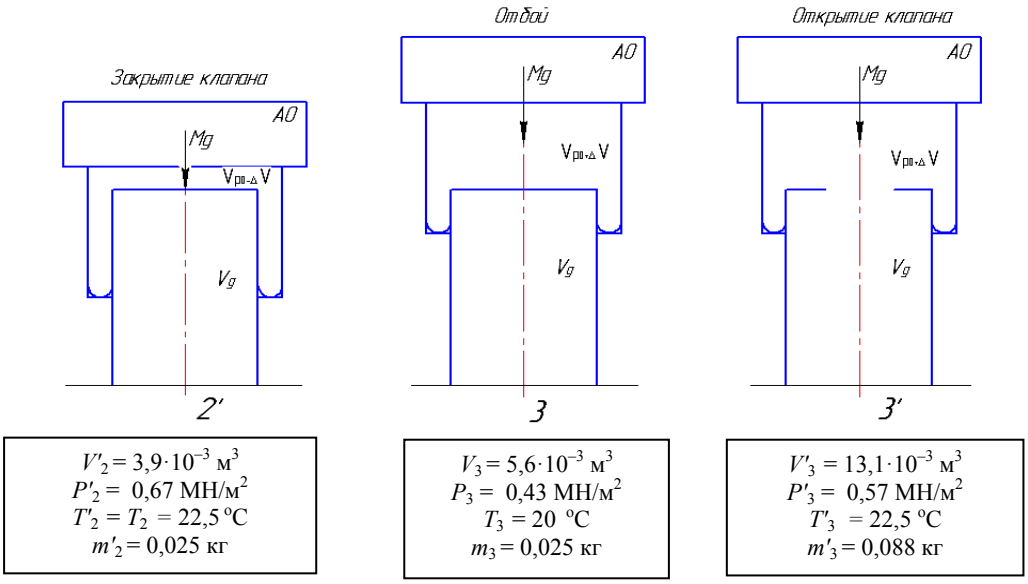


Рис. 3. Положение АО за второй полупериод свободных колебаний

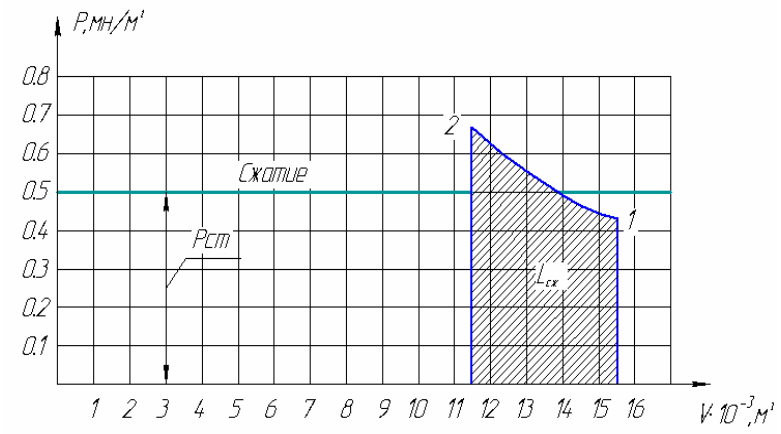


Рис. 4. Рабочая диаграмма ПА на ходе сжатия

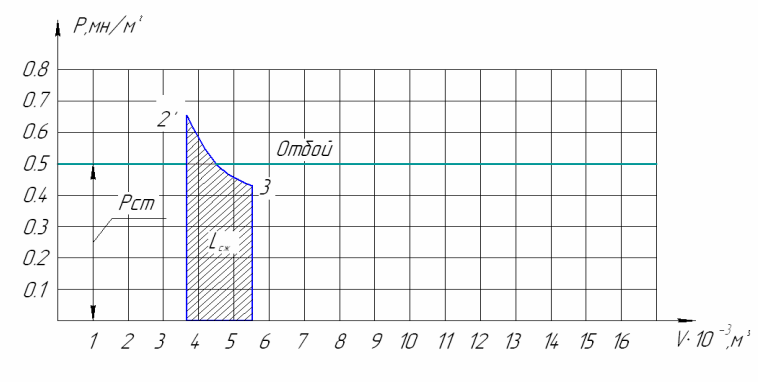
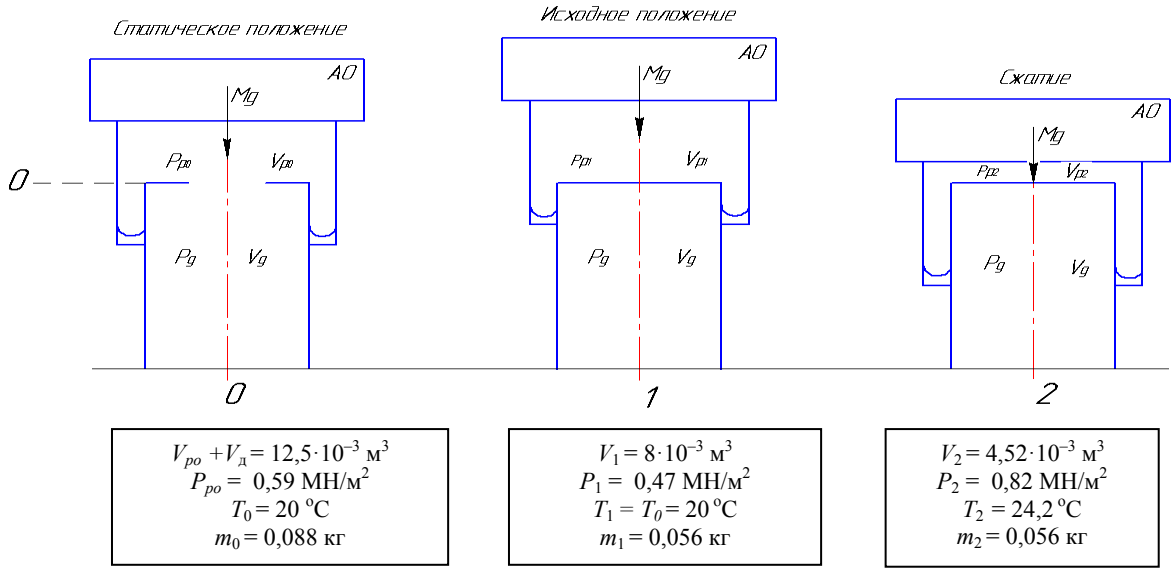


Рис. 5. Рабочая диаграмма ПА на ходе отбоя

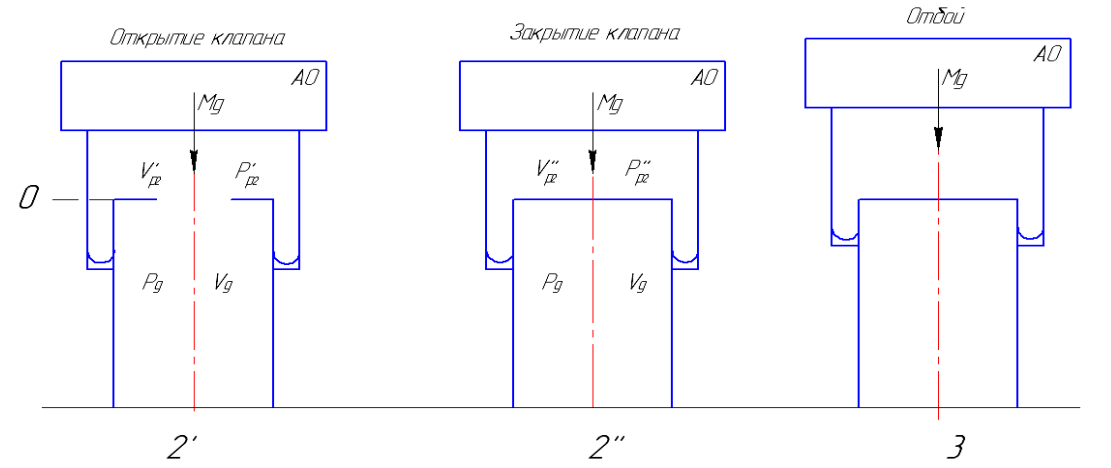


$V_{po} + V_д = 12{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3
$P_{po} = 0{,}59$ МН/м^2
$T_0 = 20$ °С
$m_0 = 0{,}088$ кг

$V_1 = 8 \cdot 10^{-3}$ м^3
$P_1 = 0{,}47$ МН/м^2
$T_1 = T_0 = 20$ °С
$m_1 = 0{,}056$ кг

$V_2 = 4{,}52 \cdot 10^{-3}$ м^3
$P_2 = 0{,}82$ МН/м^2
$T_2 = 24{,}2$ °С
$m_2 = 0{,}056$ кг

Рис. 6. Положение АО за первый полупериод свободных колебаний



$V'_2 + V_д = 12 \cdot 10^{-3}$ м^3
$P'_2 = 0{,}53$ МН/м^2
$T'_2 = 22{,}6$ °С
$m'_2 = 0{,}088$ кг

$V''_2 = 4{,}52 \cdot 10^{-3}$ м^3
$P''_2 = 0{,}53$ МН/м^2
$T''_2 = 22{,}6$ °С
$m''_2 = 0{,}032$ кг

$V_3 = 5{,}54 \cdot 10^{-3}$ м^3
$P_3 = 0{,}4$ МН/м^2
$T_3 = 20{,}8$ °С
$m_3 = 0{,}032$ кг

Рис. 7. Положение АО за второй полупериод свободных колебаний

Рабочие диаграммы для данного периода представлены на рис. 8 и 9. Подъем АО в исходное положение (рис. 6, положение 1) осуществлялся с сообщающимися объемами ПА.

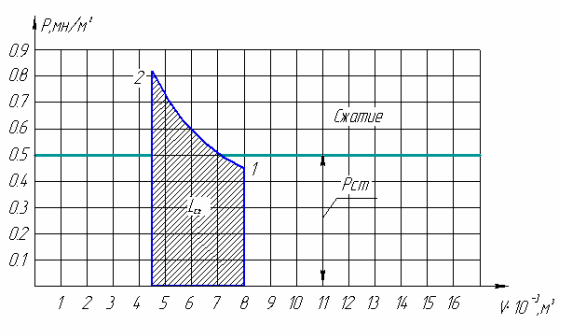


Рис. 8. Рабочая диаграмма ПА на ходе сжатия

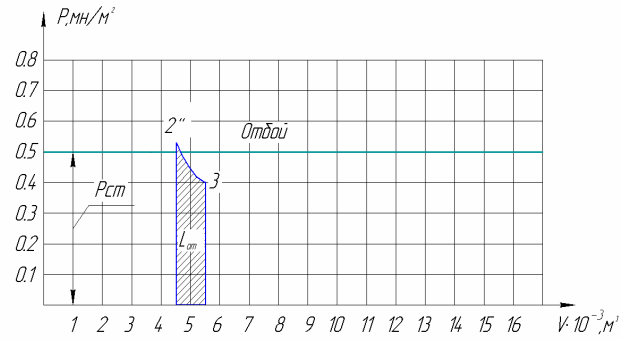


Рис. 9. Рабочая диаграмма ПА на ходе отбоя

В начале движения объекта вниз от исходного положения (ход сжатия) дополнительный объем ПА закрывается. Отсечка дополнительного объема ПА и уменьшение на ходе сжатия рабочего объема (рис. 8) приводит к резкому возрастанию давления в рабочем объеме от P_1 до P_2 и температуры от T_1 до T_2. Резкое возрастание давления в рабочем объеме ПА уменьшает ход сжатия (рис. 1, кривая 2). В начале хода отбоя при $dz/dt = 0$ дополнительный объем на короткий отрезок времени (по экспериментальным данным – $t_{вкл} = 0{,}1$ с) сообщается с рабочим объемом (рис. 7, положение $2'$) и снова отсекается (рис. 7, положение $2''$).

Выравнивание давления в объемах ПА от P_2 до $P_{2'}$ приводит к уменьшению упругой силы, действующей на АО в конце хода сжатия, и к диссипации энергии за счет разгона потока воздуха, торможения и интенсивного перемешивания. Работа, совершаемая АО над газом, будет равна площади под кривой 1–2 на рабочей диаграмме (рис. 8). В начале хода отбоя дополнительный объем закрывается. Работа расширения будет равна площади под кривой $2''$–3 на рабочей диаграмме (рис. 9).

Диссипация энергии в ПА за первый период колебаний АО равна разности этих работ:

$$L_{сж1} = RM\,(T_2 - T_1)/(k-1) = 287 \cdot 0{,}056\,(297{,}2 - 293)/\,0{,}41 = 164{,}64 \text{ Дж}; \quad (13)$$

$$L_{расш1} = Rm_3^*\,(T_2 - T_{3'})/(k-1) = 287 \cdot 0{,}032\,(295{,}6 - 293{,}8)/\,0{,}41 = 40{,}3 \text{ Дж}; \quad (14)$$

$$\Delta W_1 = L_{сж1} - L_{расш1} = 164{,}64 - 40{,}3 = 124{,}34 \text{ Дж}. \quad (15)$$

Максимальный коэффициент поглощения энергии ПА за период колебаний [10] примерно составляет:

$$\eta_w = \Delta W_1 / W = \Delta W_1 / MgZ_1 = 124{,}34 /150 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}1 = 124{,}34 /147 = 0{,}85. \quad (16)$$

За счет создания перепада давления между объемами ПА на ходе сжатия и отбоя с последующим выравниванием давления в объемах в начале каждого хода обеспечивается увеличение коэффициента поглощения энергии ПА по сравнению с ранее рассмотренным способом управления ПА примерно на ≈ 10 %. Расхождение между экспериментальными и расчетными значениями коэффициента поглощения энергии исследуемого ПА (рис. 2), выполненными по математической модели [11], не превышают 10–15 %.

Таким образом, путем управления процессами перетекания газа между объемами двухкамерного ПА в крайних положениях на периоде колебаний АО, имеющих наибольшие амплитуды колебаний, можно существенно улучшить его демпфирующие свойства (η_w = 0,75…0,85) по сравнению с пассивными ПА (η_w = 0,1…0,15). Данный подход служит методологией создания ПА с улучшенными параметрами демпфирования колебаний, что может являться основой модернизации штатных неуправляемых систем амортизации крупногабаритных объектов без использования дополнительных отдельных демпферов.

Библиографические ссылки

1. Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С. Системы амортизации крупногабаритных объектов с активными упругими и демпфирующими элементами : монография. Омск : ОмГТУ, 2010.

2. Пат. на изобретение № 2325285 РФ, МПК B60G 11/26, F16F 9/04. Пневматическая подвеска / Г. С. Аверьянов, Р. Н. Хамитов. Опубл. 27.05.2008. Бюл. № 15.

3. Пат. на изобретение № 2325568 РФ, МПК F16F 9/04, B60G 11/26. Пневматическая подвеска / Г. С. Аверьянов, Р. Н. Хамитов. Опубл. 27.05.2008. Бюл. № 15.

4. Пат. на изобретение № 2423632РФ, МПК F16F 09/04. Пневматическая подвеска / Р. Н. Хамитов, Г. С. Аверьянов. Опубл. 10.07.2011. Бюл. № 19.

5. Пат. на изобретение № 2399505 РФ, МПК B60G 11/27, F16F 9/05. Пневматическая подвеска / Р. Н. Хамитов. Опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26.

6. Хамитов Р. Н. Синтез системы управления импульсным электродинамическим клапаном пневмоамортизатора // Инженерный журнал. 2008. № 2. С. 62–64.

7. Корчагин А. Б., Аверьянов Г. С., Хамитов Р. Н. Гидродинамический вибростенд // Вестник ОмГТУ. Серия «Приборы, машины и технологии». 2009. № 2 (80). С. 122–124.

8. Кирилин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. М. : Энергия,1974..

9. Оценка диссипативных качеств пневмоамортизатора с резино-кордной оболочкой / Г. С. Аверьянов, В. Н. Бельков, А. Б. Корчагин и др. // Динамика систем, механизмов и машин : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. Омск : ОмГТУ, 2009. Кн. 2. С. 189–194.

10. Вольперт Э. Г. Динамика амортизаторов с нелинейными упругими элементами. М. : Машиностроение, 1972.

11. Хамитов Р. Н. Система управления и процессы двухобъемного пневмоамортизатора // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 1 (27). С. 105–109.

R. N. Khamitov, G. S. Averyanov, A. A. Perchun

OPERATION MODES OF A DOUBLE CHAMBER PNEUMOSHOCK ABSORBER WITH INCREASED DAMPING

The authors present the analysis of the processes that determine the dissipation of energy in a double chamber pneumoshock absorbers and demonstrate that by means of control of process of gas flow, inside the volumes of the pneumoshock absorber chamber, we can significantly improve its damping properties, in comparison with passive pneumoshock-absorbers. Limit values of the coefficient of absorption of fluctuation energy (up to 0,75…0,85) with various switching modes of the pneumoshock-absorber electric valve.

Keywords: short-term volumes switching, pneumoshock-absorber operating mode, damping of fluctuations.

© Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С., Перчун А. А., 2012

УДК 621.37

П. В. Шаршавин, А. С. Кондратьев, А. В. Гребенников

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРЕНИЯ ПСЕВДОДАЛЬНОСТИ ПО СИГНАЛАМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС/GPS

Описана идея цифровой регистрации навигационных сигналов, рассмотрена проблема ограничения частоты дискретизации при обработке навигационных сигналов, предложен метод высокоскоростной постобработки для повышения точности оценок параметров сигналов.

Ключевые слова: радионавигация, СРНС, цифровая регистрация, постобработка.

Цифровая регистрация является относительно новым направлением в области приема и обработки навигационных сигналов. Идея метода заключается в постобработке ранее принятого, оцифрованного и записанного на носитель информации навигационного сигнала.

Устройство, реализующее данный метод (рис. 1), состоит из цифрового регистратора и персональной ЭВМ со специализированным программным обеспечением. Цифровой регистратор выполняет функции приема, оцифровки и передачи необработанного навигационного сигнала через высокоскоростной интерфейс, в качестве которого может выступать интерфейс Fast Enternet, либо Gigabit Enternet. Принятый в ПЭВМ сигнал записывается на носитель информации, в качестве которого выступает жесткий магнитный диск, либо передается программе обработки в реальном времени. В программе постобработки, которая работает с записями сигналов, могут быть реализованы принципиально новые подходы и методы обработки навигационного сигнала, извлечения навигационной информации и решения навигационной задачи. С помощью постобработки могут быть решены проблемы, которые трудно либо невозможно решить современными методами обработки сигналов в реальном масштабе времени [1]. Одной из таких проблем является повышение точности оценки параметров навигационного сигнала, в частности, задержки ПСП.

Для повышения точности оценки задержки ПСП требуется, кроме прочих мер, уменьшение погрешностей дискретизации входного сигнала и опорной ПСП коррелятора (рис. 2). Погрешность дискретизации опорной ПСП коррелятора (рис. 2, *а*) возникает вследствие необходимости получения равных частот дискретизации входных выборок сигнала и опорной ПСП, поскольку классический подход обработки в реальном времени предполагает обработку сигналов на частоте дискретизации АЦП. Данные погрешности имеют равномерный закон распределения с максимальным значением погрешности, равным периоду дискретизации (рис. 2, *б*) [2]. Очевидно, величина погрешности будет обратно пропорциональна частоте дискретизации.

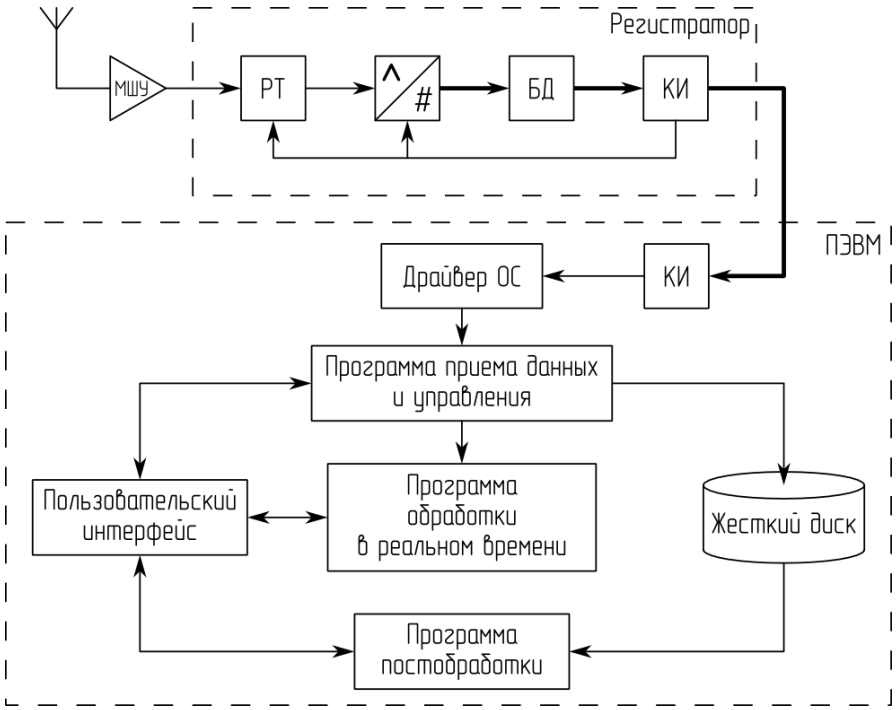


Рис. 1. Структурная схема программного приемника:
МШУ – малошумящий усилитель; РТ – радиотракт; БД – буфер данных; КИ – контроллер интерфейса; ПЭВМ – персональная ЭВМ

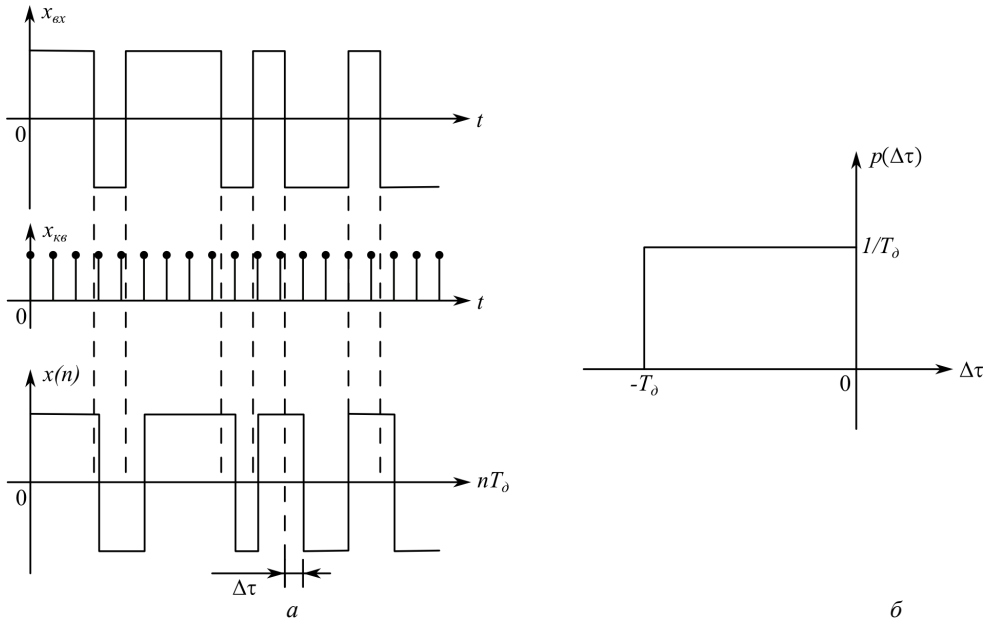


Рис. 2. Погрешность дискретизации опорной ПСП коррелятора:
а – процесс дискретизации; *б* – график распределения плотности вероятности погрешности

Из методов уменьшения погрешности дискретизации наиболее часто применяется метод повышения частоты дискретизации АЦП. Эффективность данного метода ограничивается аппаратными возможностями современных АЦП, а также аппаратными возможностями устройств цифровой обработки сигналов.

Применение постобработки позволяет значительно уменьшить влияние данных ограничений. В частности, это дает возможность осуществлять обработку сигнала с высокой частотой дискретизации, которая выше частоты дискретизации АЦП. Данная возможность позволяет уменьшить погрешность дискретизации опорной ПСП коррелятора пропорционально увеличению частоты дискретизации. Для согласования частот дискретизации входного сигнала и опорной ПСП предлагается вместо прореживания выборок опорной ПСП повысить частоту дискретизации входного сигнала с помощью интерполяции.

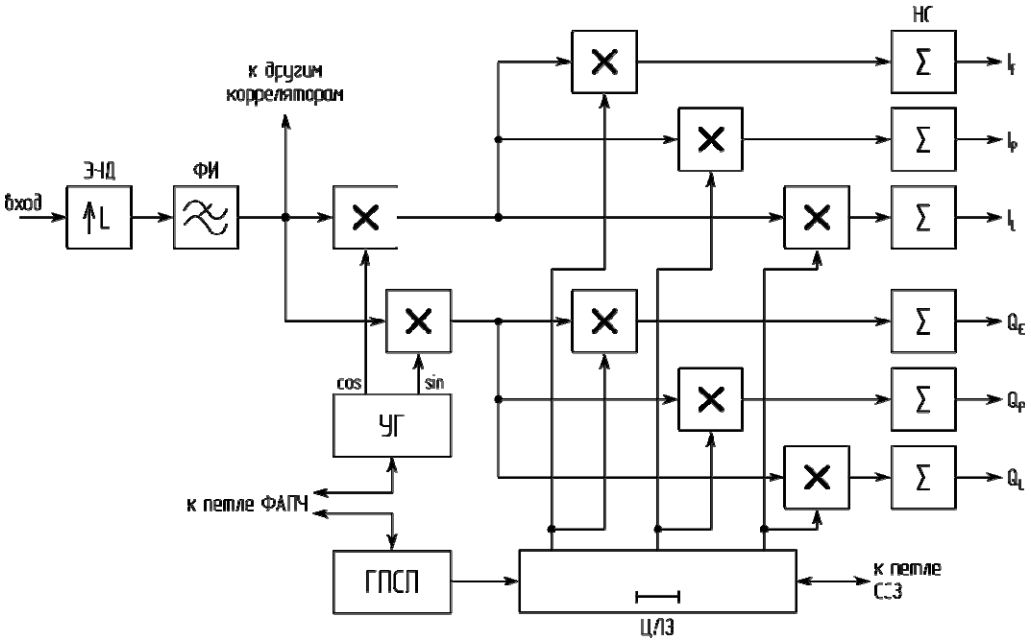


Рис. 3. Структурная схема коррелятора программного приемника с постобработкой:
ЭЧД – экспандер частоты дискретизации; ФИ – фильтр-интерполятор; УГ – управляемый генератор; ГПСП – генератор псевдослучайной последовательности; ЦЛЗ – цифровая линия задержки; НС – накапливающий сумматор

Блок цифровой обработки, реализующий данный принцип (рис. 3) отличается от применяемого при обработке в реальном времени наличием экспандера частоты дискретизации входного сигнала и фильтра-интерполятора [3]. Также в блоке отсутствуют элементы понижения частоты дискретизации опорной ПСП. Соответственно коррелятор работает на высокой частоте дискретизации, что позволяет повысить точность оценки псевдодальности. Недостатком данного решения являются большие вычислительные затраты. Однако этот недостаток не является существенным, поскольку обработка не осуществляется в реальном времени.

Предложенный алгоритм позволяет повысить точность оценок псевдодальности за счет устранения погрешностей, введенных искусственно. В настоящее время разрабатывается программа, реализующая данный алгоритм, и ее отлаживание на данных математических моделях, записанных с помощью цифрового регистратора сигналов, имитатора навигационных сигналов, а также записанных реальных сигналах спутниковых радионавигационных систем.

Библиографические ссылки

1. Шаршавин П. В., Сизасов С. В., Гребеников А. Г. Программная постобработка и программные приемники навигационных сигналов СРНС ГЛОНАСС/GPS // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. / науч. ред. Г. Я. Шайдуров ; Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2011.

2. Мирский Г. Я. Электронные измерения. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Радио и связь, 1986.

3. Глинченко А. С. Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / КГТУ Красноярск, 2005.

P. V. Sharshavin, A. S. Kondratiev, A. V. Grebennikov

APPLICATION OF DIGITAL RECORDING FOR INCREASE OF MEASUREMENT PRECISION OF GLONASS/GPS NAVIGATION SATELLITE SYSTEM SIGNALS PSEUDO RANGE

The idea of navigation signals digital recording is described, the problem of limiting the frequency constraint in navigation signal processing is considered, a method of high-speed signal post-processing, for signal parameters estimation accuracy increase, is offered.

Keywords: radio-navigation, GNSS, digital recording, post-processing.

© Шаршавин П. В., Кондратьев А. С., Гребенников А. В., 2012

Раздел
3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.396.677

А. А. Бакин, Л. И. Оборина, И. В. Трифанов

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВУХЗЕРКАЛЬНОГО ЛУЧЕВОДА

Представлен расчет лучевода численно-аналитическим методом. Получены частотные зависимости коэффициента стоячей волны (КСВ) от геометрических параметров лучевода.

Ключевые слова: лучевод, облучатель, антенно-фидерное устройство, коэффициент стоячей волны.

Лучеводы представляют собой систему конфокальных зеркал или линз. Используются в качестве квазиоптических линий передачи сфокусированной электромагнитной энергии [1].

Повышенный интерес к лучеводом в связи с развитием спутниковых систем связи объясняется тем, что они по сравнению с традиционными волноводами СВЧ–КВЧ-диапазонов обладают важными преимуществами:

– обеспечивают удобное и эффективное размещение антенно-фидерных устройств (АФУ);

– позволяют снизить потери тракта, а следовательно, уменьшить шумовую температуру и увеличить шумовую добротность антенны.

Особенно заметно это преимущество в КВЧ-диапазоне, где велики потери, вносимые волноводным трактом.

Кроме того, при лучеводном питании из тракта двухзеркальной антенны исключаются узкополосные вращающие переходы, что позволяет создать антенну, способную работать в весьма широком диапазоне частот.

Лучеводная система является достаточно универсальной и применима в антеннах с модифицированными профилями поверхностей контррефлектора и основного зеркала, имеющих высокий коэффициент использования поверхности раскрыва (КИП).

Разработана модель волноводно-лучеводной линии (рис. 1). Поверхности зеркал представляли собой вырезки из параболоидов вращения со следующими геометрическими характеристиками:

$$y^2 + x^2 = 4Fz, \qquad z = x^2 / 4F, \tag{1}$$

где F – фокусное расстояние.

С целью подавления кроссполяризационного излучения в систему лучевода вводили два зеркала, располагая их симметрично, кривизной навстречу друг другу. В результате кроссполяризационные составляющие, порожденные одним зеркалом, компенсировались другим.

Для лучевода (см. рис. 1) был разработан метод численно-аналитического расчета.

Рассматривали систему с двумя зеркалами параболической формы (рис. 2, 3). Зеркала размещены на расстоянии 200 мм друг от друга.

Подобная система позволяет избежать потерь при передаче, вызванных неравномерностью внутренней поверхности волновода. При решении предполагалось возбуждение одним рупорным облучателем и прием сигнала вторым. Для волн частот 50…60 ГГц был использован алгоритм решения интегральных уравнений с поверхностными граничными условиями.

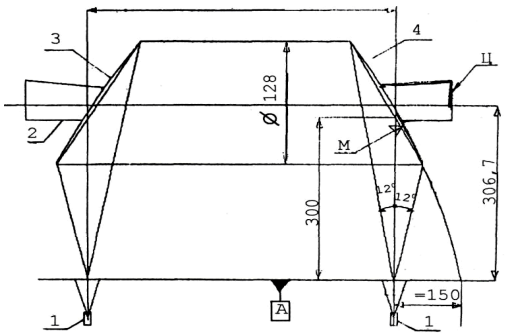


Рис. 1. Принципиальная схема лучевода КВЧ-диапозона:
1 – облучатели с пирамидальным рупором; *2* – штанга;
3, *4* – зеркала параболические

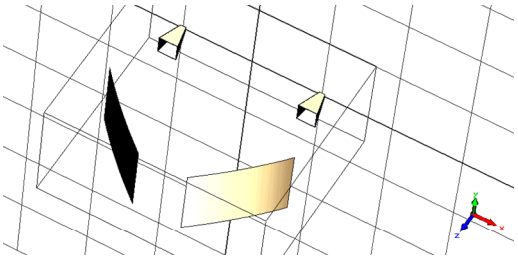


Рис. 2. Внешний вид системы лучевода
в CST Microwave Studio

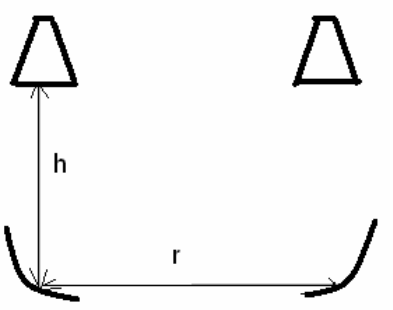


Рис. 3. Схематичное расположение облучателей
и зеркал в лучеводной системе (вид сверху)

Для определения параметров системы целесообразно рассматривать устройство с помощью падающих и отраженных волн. Элементы матрицы рассеивания приведены на рис. 4, где S22 описывает коэффициент отражения по волноводному входу излучающего рупора (в данном случае это рупор № 2, однако ввиду симметричности лучеводной системы картина не изменится при первом, излучающем, и втором, принимающем рупоре), S12 – коэффициент передачи на приемный рупор.

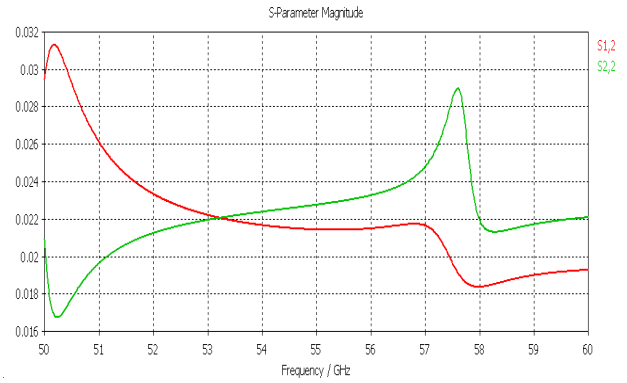


Рис. 4. Частотная зависимость элементов матрицы рассеивания

Для оценки потерь в системе также был рассчитан коэффициент стоячей волны (КСВ) (рис. 5).

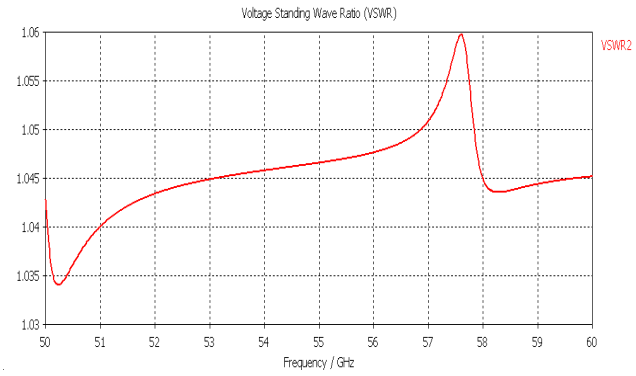


Рис. 5. Зависимость КСВ от частоты (ГГц)

Можно видеть, что потери составляют от 1,7 до 2,9 %. При этом максимум потерь приходится на частотную область 57…58 ГГц, на большей же части исследуемого диапазона потери не превышают 2,2 %. В децибелах потери по напряженности поля составляют от –17,6 до –17,7 дБ, либо, если сравнивать отклонения напряженности, имеем разницу 0,14…0,23 дБ.

Для определения комплексного сопротивления лучевода была построена диаграмма Вольперта–Смита (рис. 6), которая показывает, что изменение полного импеданса системы при значительном изменении частоты мало. Данная система может быть эффективно использована для широкого диапазона миллиметровых волн.

Рассмотрим изменение характеристик лучевода при варьировании расстояния от облучателей до зеркал и между облучателями. Обозначим расстояние между облучателями и соосными с ними отражателями r, а расстояние от центра апертуры облучателя до центра отражателя h. Тогда при различных значениях r и h будем получать разные частотные зависимости КСВ. Лучшая частотная зависимость КСВ наблюдается при r = 200, h = 100 мм (рис. 7).

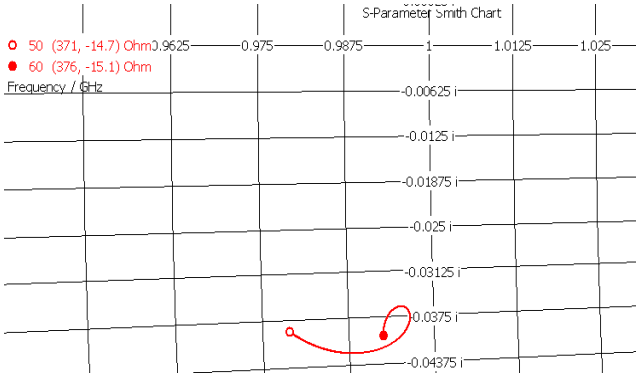


Рис. 6. Диаграмма Вольперта–Смита для лучевода

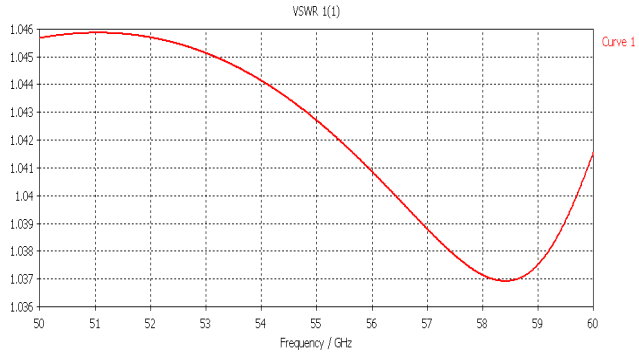


Рис. 7. Частотная зависимость КСВ при r = 200 мм, h = 100 мм

Для расчета поля, рассеянного первым зеркалом лучевода в зоне Френеля, используется дифракционная формула Кирхгофа [1] с интегрированием по поверхности отражающего элемента:

$$E = \frac{\frac{1}{4} I \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \iiint \frac{\left(3\Delta + k^2 J\right) e^{(-Ikr)}}{r} dxdydz}{\pi k}, \qquad (2)$$

$$H = \frac{\iiint \frac{J\Delta\, e^{(-Ikr)}}{r} dxdydz}{4\pi},$$

где E – напряженность электрического поля на расстоянии r от зеркала; H – напряженность магнитного поля r от зеркала; $J = J(x, y, z)$ – распределение тока по поверхности зеркала; k – волновое число; r – параметр, равный расстоянию между зеркалами; Δ – дифференциальнй оператор Лапласа; I – мнимая единица.

Для параболоида распределение токов на поверхности (рис. 8) определим с помощью TLM Solver CST Microwave Studio, а затем аппроксимируем аналитической функцией с помощью MATLAB.

В рамках приближения геометрической оптики считаем фронт падающей на зеркало волны плоским, поляризацию определим как линейную.

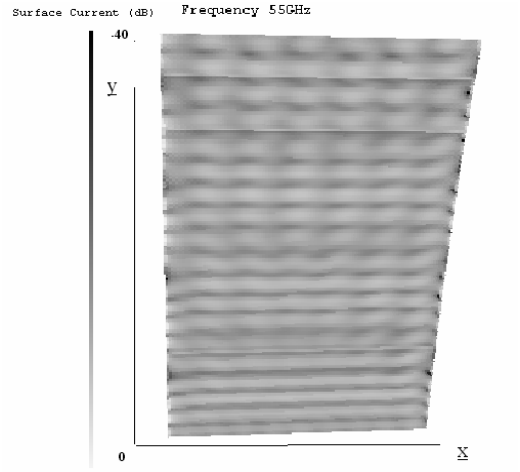


Рис. 8. Поверхностный ток (дБ) на поверхности зеркала при облучении его плоской волной с частотой 55 ГГц

Для расчета поля по формуле (2) требуется представить J как аналитическую функцию. Для построения приближенной аналитической функции из набора дискретных значений обычно используются аппроксимационные или интерполяционные алгоритмы, однако в данном случае использование их без предварительной подготовки данных связано с вычислительными трудностями. В связи с высокой частотой конечно-элементное моделирование, используемое в CST Microwave studio, требует разбиения на очень большое количество малых областей – в данном случае количество ячеек сетки разбиения ~28 000. Интерполяция функции трех переменных по такому массиву точек требует больших вычислительных мощностей. С другой стороны, можно видеть (см. рис. 8), что интересующие нас значения поверхностного тока мало отличаются на участках поверхности, в разы превышающих размер ячейки разбиения. Воспользовавшись этим, выделим области, в которых значения отличаются не более чем на +/– 0,5 дБ. Примем значение тока в этих областях равным среднему [2, с. 134], а точку для интерполяции установим в геометрическом центре области. Также разделим параболоид на 9 зон, содержащих несколько таких областей, разбив соответствующим образом пределы интегрирования в (1). Для интерполяции воспользуемся интерполяционным полиномом Лагранжа [3, с. 145–147], обобщенным для функции трех переменных. В результате этих действий удалось получить 9 зон, в каждой из которых порядок полинома не превосходит 7.

Общий вид интерполяционного многочлена Лагранжа для трех переменных:

$$W := \sum_{i=1}^{n} J_i px_i(x) py_i(y) pz_i(z), \qquad (3)$$

где $J_i(x, y, z)$ – известные значения плотности тока в точках, а коэффициенты px_i, py_i, pz_i определяются подобно:

$$px_i := \prod_{\substack{1...k \\ i \neq k}} \left(\frac{x - x_k}{x_i - x_k} \right). \qquad (4)$$

Функция представляет собой в данном случае полином седьмой степени и, следовательно, легко дифференцируется и интегрируется.

Количество минимумов и максимумов полинома на области интегрирования совпадает с количеством минимумов и максимумов значений плотности тока после сглаживания данных моделирования, что указывает на физичность интерполяции.

Подставив W в качестве $J(x, y, z)$ в (2) и проинтегрировав в пределах координат поверхности отражателя лучевода, получим

$$E := \frac{\left(0{,}178\,798\,000\,000 + 12{,}4\,140\,000\,000\,000\,k\sim\right) \times \cos\left(1.\,k\,r\sim\right)}{r}, \qquad (5)$$

где k – волновое число; r – расстояние от поверхности отражателя до точки измерения поля.

Приняв напряженность падающего поля за единицу, построим 3D-зависимость отношения напряженности отраженного поля к напряженности упавшего от k и r (рис. 9).

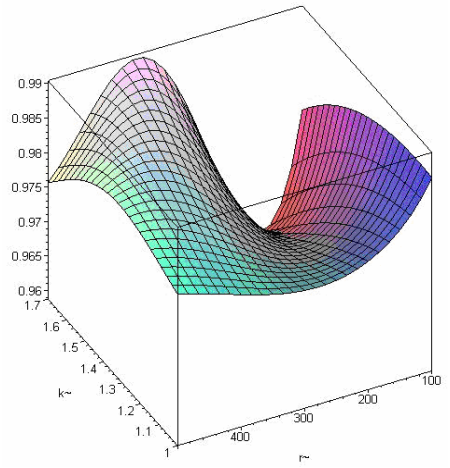


Рис. 9. 3D-зависимость отношения напряженности поля на расстоянии r от зеркала к напряженности поля, упавшего на зеркало (по оси z, %), от k, мм$^{-1}$ и r, мм

Можно видеть, что существуют определенные пары значений параметров r и k, при которых потери минимальны. Для частоты 55 ГГц оптимальное значение расстояния до второго отражателя лежит в диапазоне 200…300 мм (см. рис. 9). Чтобы найти точное

значение, продифференцируем (5) по r, подставим значение волнового числа и найдем экстремумы, приравняв полученное выражение к 0:

$$-\frac{1{,}659631300\cos\left(0{,}01150000000r\sim\right)}{r^2\sim} = \\ = \frac{0{,}01908575995\sin\left(0{,}01150000000r\sim\right)}{r\sim}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что для k = 1,15 функция E принимает максимум при r = 243,3 мм, что качественно согласуется с результатами моделирования.

Найдем потери на первичном зеркале лучеводной системы. При оптимальном расстоянии между зеркалами потери на первом зеркале при частоте 55 ГГц составят –0,13 дБ. Предполагая ввиду идентичности первого и второго зеркал лучеводной системы, что потери на втором отражателе аналогичны, получим для потерь на обоих зеркалах –0,26 дБ.

Таким образом, пренебрегая потерями в облучателях, при оптимальном расположении зеркал можно добиться потерь в лучеводном тракте –0,2…0,3 дБ, что согласуется с результатами численного моделирования.

Проведено моделирование системы лучеводов с оптимальным (согласно аналитическим расчетам) расстоянием между зеркалами в CST Microwave Studio, используя Transient Solver. Произведено сравнение частотных зависимостей КСВ для подобной системы, полученных численным моделированием и путем численно-аналитического расчета (рис. 10).

Таким образом, предложено усовершенствование метода расчета лучеводных систем в приближении геометрической оптики. Метод может применяться в тех случаях, когда полное компьютерное моделирование системы затруднено ввиду высоких частот, что требует уменьшения шага сетки и следовательно, увеличения количества элементов.

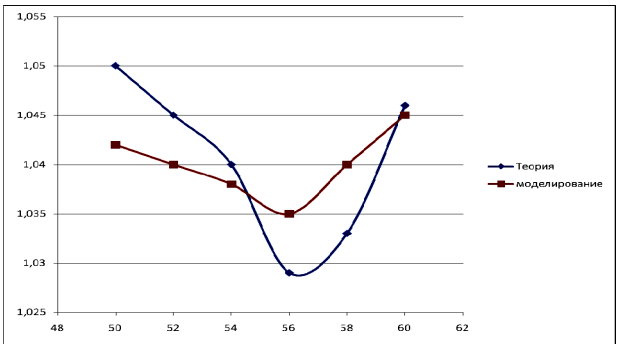


Рис. 10. Зависимость КСВ от частоты (ГГц) для лучеводной системы с r = 243,3 мм

Преимуществом использованного подхода перед описанным в [1] является то, что он хотя и приближенно, но учитывает реальное распределение токов по поверхности отражателей, численное вычисление которых при помощи интегральных уравнений на поверхности намного проще численного расчета полей во всем объеме системы лучеводов. Использование модельного распределения плотности тока на поверхности криволинейного зеркала должно привести к повышению точности расчетов. К недостаткам предложенного метода можно отнести необходимость первичной обработки данных моделирования для получения интерполяционных полиномов доступной для вычислительных мощностей степени.

Библиографические ссылки

1. Мирошниченко А. Я. Лучеводы для двухзеркальных антенн // Зарубежная радиоэлектроника. 1981. № 7. С. 28–62.

2. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. М. : Наука, 1989.

3. Афонин В. Л., Макушин В. А. Интеллектуальные робототехнические системы. М. : Интернет-ун-т информ. технологий, 2005.

A. A. Bakin, L. I. Oborina, I. V. Trifanov

CALCULATION OF PARAMETERS OF A TWO-MIRROR BEAM WAVEGUIDE

The authors present calculation of a beam waveguide, made by numerical analytical method. The frequency dependence of the SWR on the geometric parameters of the beam waveguide are presented as well.

Keywords: beam waveguide, feed element, aerial-feed device, standing wave coefficient.

© Бакин А. А., Оборина Л. И., Трифанов И. В., 2012

УДК 666.3

С. С. Добросмыслов, В. И. Кирко, Г. Е. Нагибин, О. А. Резинкина, З. И. Попов

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ SnO_2 С ДОБАВКАМИ MnO_2 И CuO*

Синтезированы керамические полупроводниковые материалы на основе диоксида олова с добавками MnO_2 и CuO. Температуры синтеза были 1300 и 1400 ºС. Проведены исследования физико-механических и электрофизических свойств. Показано, что при повышении температуры обжига для материала, полученного при использовании MnO_2, происходит существенное улучшение спекания. Наилучшими электрофизическими характеристиками обладают образцы состава 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO, полученные при температуре обжига 1300 ºС (УЭС 0,09 мОм·м). УЭС состава 94 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO – 2 % MnO_2 в высокотемпературной области выше в 3 раза. Для состава 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % MnO_2 вольт-амперная характеристика имеет нелинейный вид и присутствует гистерезис.

Ключевые слова: керамика, диоксид олова, электропроводность, вольт-амперная характеристика.

Керамика на основе диоксида олова нашла применение во многих отраслях промышленности: электронике, электротехнике, электрохимии, катализе, биотехнологии, металлургии, атомной и химической промышленности и др. [1]. SnO_2 – полупроводник (*n*-типа) с энергией запрещенной зоны 3,54 эВ [2], свойства которого во многом определяются микроструктурой и методом синтеза. Широкий диапазон областей применения накладывает особые требования к свойствам материала и, как следствие, к методам его синтеза.

Высокопористые, поликристаллические материалы с большим количеством структурных дефектов применяются в качестве катализаторов и полупроводниковых газовых сенсоров [3–6]. Кислородные вакансии, образующиеся в поверхностно-активных слоях пор диоксида олова, являются участками физической или химической адсорбции, наличие которой необходимо для газочувствительности. С другой стороны, высокоплотные керамики на основе SnO_2 в связи с высокой электропроводностью при высоких температурах используются в качестве электродов [7], работающих при высоких температурах, например, для электролиза алюминия и производства стекла [8]. Без использования стеклообразующих добавок диоксид олова имеет плохую спекаемость, обусловленную доминированием процесса испарения-конденсации над диффузией [9]. Так как начиная с температуры 1100 °С SnO_2 начинает интенсивно испаряться, это сильно ограничивает компактирование материала.

Одним из способов улучшения спекаемости керамических материалов является использование добавок высокодисперсных оксидных материалов, таких как ZnO [10], CuO [11], MnO_2 [12; 13], CoO [14], Fe_2O_3 [13], а для улучшения электрических свойств добавляются V_2O_5 [6], Sb_2O_3 [15]. Особенно эффективны добавки CuO порядка 1 % мол., обусловленные образованием жидкой фазы, точка эвтектики системы Cu–O 1080 °С [16]. Существенное улучшение электрофизических свойств обеспечивают добавки Sb_2O_3.

Целью настоящей работы было исследование особенностей физико-механических и высокотемпературных электрофизических свойств керамики на основе 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO с добавками ультрадисперсного (УДП) MnO_2.

Методика эксперимента. Образцы изготавливались по классической керамической технологии. Исходная навеска порошка SnO_2 приготавливалась в водном растворе солей Mn и Cu, в дальнейшем проводился предварительный обжиг при температуре 1 100 ºС с дальнейшим измельчением. После происходило формирование готового изделия при использовании в качестве связки 5%-го раствора поливинилового спирта. Обжиг изделия проходил при температуре 1300 и 1400 ºС в течение 2 ч. Для физико-механических испытаний образцы керамики изготавливались в виде цилиндров диаметром 15 мм и высотой 10 мм соответственно. Для электрофизических измерений образцы имели прямоугольную форму 5×4×50 мм. Плотность образцов измерялась по методике гидростатического взвешивания в спирте, открытая пористость – по ГОСТ 2409–95. Удельное электросопротивление (УЭС) в диапазоне температур 20–1000 °С измерялось четырехзондовым методом [17]. Механические свойства определялись с помощью прибора Instron 3369. Кристаллическая структура синтезированной керамики контролировалась рентгеноструктурным анализом на приборе XRD 6000. Фотографии поверхности изломов получали с помощью растрового электронного микроскопа JEOL (Japan) JSM-7001F.

Результаты экспериментов. Результаты проведенных исследований физико-механических свойств синтезированных керамических материалов и значения их удельного электрического сопротивления при T = 1 000 ºС представлены в таблице.

*Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. и при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках реализации индивидуального проекта аспиранта.

Физико-механические свойства и УЭС исследуемых керамических материалов

№	Состав шихты	Температура обжига, ºС	Плотность, г/см^3	Открытая пористость, %	Прочность, МПа	УЭС, мОм·м T = 1 000 ºС
1	2	3	4	5	6	7
1	96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO	1 300	5,4	17,9	155,3	0,09
2	96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % MnO_2	1 300	5,5	18,5	91,2	0,80
3	96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % MnO_2	1 400	6,1	6,1	158,2	–
4	94 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 4 % MnO_2	1 300	5,5	17,2	132,5	0,83
5	94 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 4 % MnO_2	1 400	6,1	5,1	257,6	–
6	90 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 8 % MnO_2	1 300	5,3	18,6	149,7	0,99
7	94 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO – 2 % MnO_2	1 300	6,6	0,11	424,8	1,7

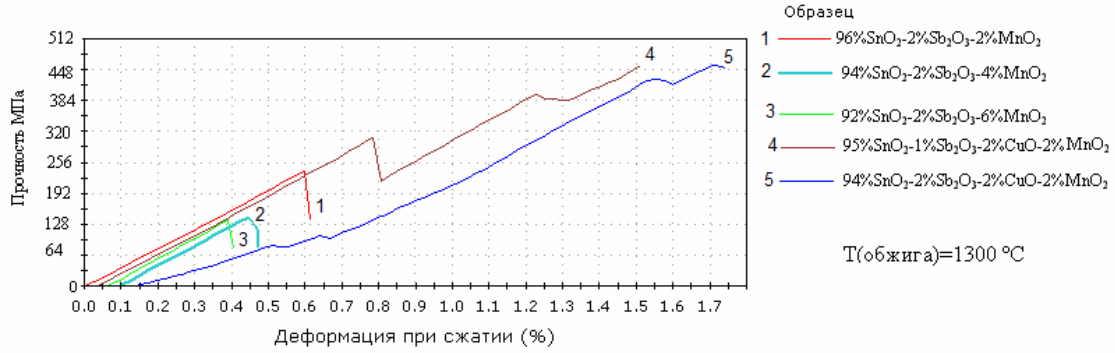


Рис. 1. Зависимость прочности керамических материалов от степени их деформации при сжатии

В первом столбце таблицы указан номер эксперимента, во втором и третьем – состав керамики и температура ее окончательного обжига. В 4–7 столбцах приведены измеренные значения плотности, открытой пористости, прочности и УЭС соответственно.

Видно, что полная замена CuO на MnO_2 приводит к деградации механических и электрических свойств керамики (эксперименты № 1–2). Увеличение температуры обжига приводит к увеличению плотности, прочности и, соответственно, уменьшению открытой пористости (№ 2–3 и 4–5). Наилучшая комбинация состава из изученных – 94 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO – 2 % MnO_2. Данная керамика обладает наилучшими физико-механическими характеристиками (№ 7).

Результаты исследований прочности керамики при одноосном сжатии, полученных на измерительной машине Instron 3369, приведены на рис. 1.

Предел прочности керамики с увеличением концентрации MnO_2 уменьшается. Модуль Юнга практически не меняется. Небольшая добавка стеклообразующей фазы CuO приводит сильному увеличению предела прочности и изменению характера деформации и разрушения (от классически хрупкого до вязкохрупкого). На кривых (рис. 1) в ряде случаев происходит скачкообразное разрушение материала, что свидетельствует об изменении характера деформации.

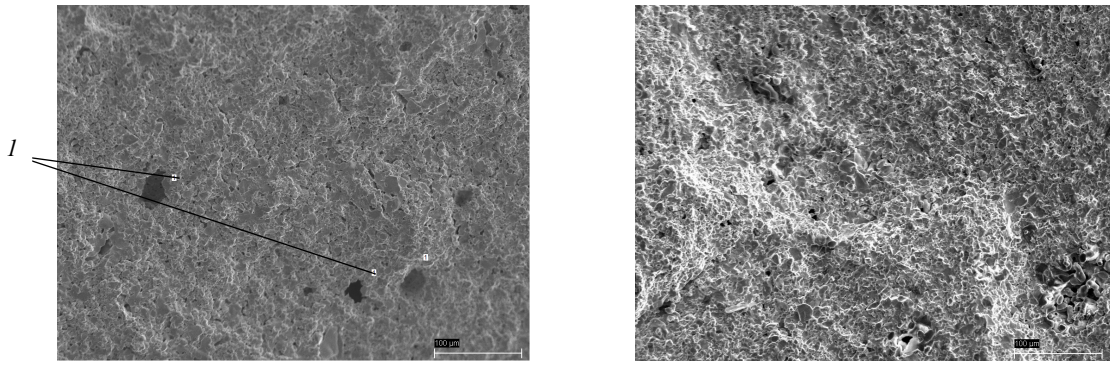
На рис. 2 приведены фотографии поверхности излома образцов синтезированной керамики. Структура изломов также свидетельствует о смене характера разрушения от хрупкого (рис. 2, *а*) до вязкохрупкого (рис. 2, *б*).

Как можно видеть, в диоксиде олова, полученного с добавками CuO или MnO_2, образуются поры *1*, размер которых, в случае добавки 2 % CuO, составляет 20 мкм. В керамике с комбинацией состава диоксида марганца и оксида меди крупные поры практически отсутствуют, как и поры более мелкого размера.

На рис. 3 представлены фотографии изломов керамики с 5000-кратным увеличением.

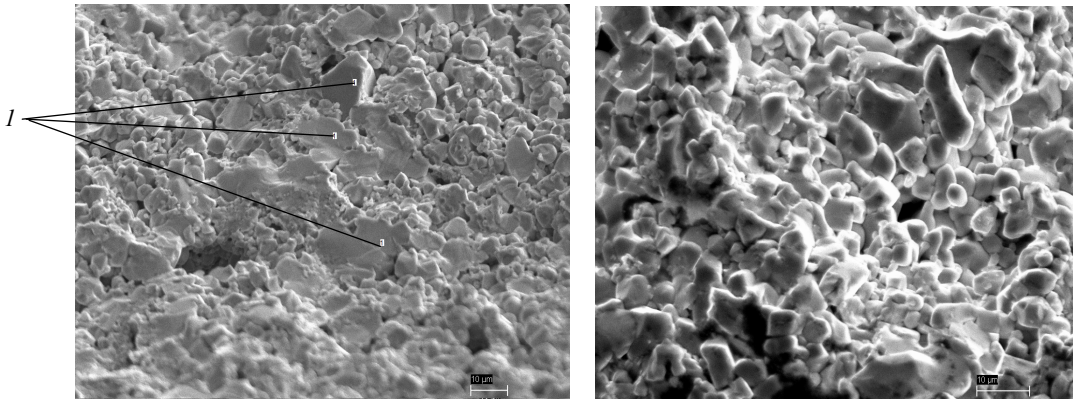
Как видно, разрушение керамики состава 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO идет по телу частиц, а разрушение керамики с добавками 2 % CuO – 2 % MnO_2 происходит по границам зерен (видимо, по стеклообразующей фазе $CuMn_2O_4$, $Cu_{1,5}Mn_{1,5}O_4$) [18]).

Известно [19], что при добавлении MnO_2 в поликристаллический диоксид олова на поверхности зерен происходит образование Mn_2SnO_4, которая, по-видимому, препятствует хорошему спеканию материала. Этим и объясняется высокая пористость материала и его низкая прочность. В случае использования комбинации добавок MnO_2–CuO происходит образование $CuMnO_x$-фазы (преимущественно $CuMn_2O_4$, $Cu_{1,5}Mn_{1,5}O_4$) [17], которая выступает в качестве стеклофазы, образующейся на поверхности зерен, и способствует спеканию.



а *б*

Рис. 2. Фотографии, исследуемых материалов с 500-кратным увеличением, полученные с помощью растрового электронного микроскопа JEOL (Japan) JSM-7001F:
а – 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO: 1 – поры; *б* – 94 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO – 2 % MnO_2



а *б*

Рис. 3. Фотографии изломов исследуемых материалов с 5000-кратным увеличением:
а – 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO: 1 – места разрушения частиц;*б* – 94 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO – 2 % MnO_2

Для улучшения электрофизических свойств использовалась добавка Sb_2O_3. При высокотемпературном обжиге происходит замещение 4-валентных атомов олова на 5-валентные атомы сурьмы в кристаллической решетке SnO_2 [20], что обеспечивает дырочную проводимость материала и существенно уменьшает ширину запрещенной зоны [21].

Результаты измерений удельного электрического сопротивления исследуемых керамик в зависимости от температуры представлены на рис. 4.

Как было сказано выше, в качестве добавки, улучшающей проводимость материала, использовался Sb_2O_3. В составах, представленных на рис. 4, концентрация оксида сурьмы постоянна (число носителей электрического заряда). В этой связи удельное электрическое сопротивление определяется качеством электрического контакта между спеченными частицами. Самое низкое УЭС у материала, полученного с использованием CuO, оно составляет 0,09 мОм·м (см. таблицу, № 1). Как видно из таблицы и рис. 4, в случае использования MnO_2 УЭС не зависит от концентрации данной фазы. Данный факт можно объяснить тем, что образование Mn_2SnO_4 на поверхности практически не оказывает влияния на электрический контакт между спеченными частицами диоксида олова.

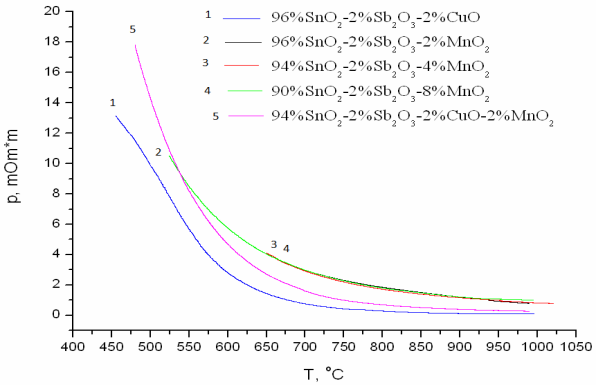
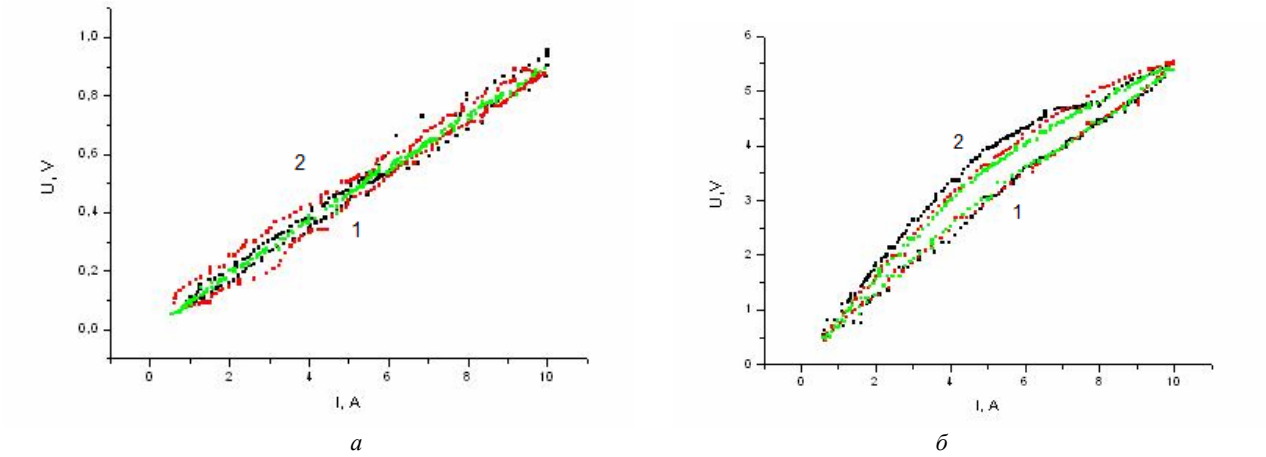


Рис. 4. Зависимости удельного электрического сопротивления материалов на основе диоксида олова от температуры с различной концентрацией диоксида марганца

На рис. 5 представлены вольт-амперные характеристики образцов 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO и 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % MnO_2.



а *б*

Рис. 5. Вольт-амперные характеристики образцов при трехкратном измерении (T = 1 000 ºС):
а – 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO; *б* – 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % MnO_2:
1 – повышение силы тока; 2 – понижение силы тока

Как видно, вольт-амперные характеристики зависят от фазового состава материала. В случае состава 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO вольт-амперные характеристики прямолинейные, что свидетельствует о постоянстве УЭС при увеличении токовой нагрузки (рис. 5, *а*). Наоборот, в образцах, где CuO заменен на ультрадисперсный MnO_2, при увеличении токовой нагрузки от 1 до 10 А УЭС уменьшается практически в 2 раза (рис. 5, *б*). Последнее может быть связано с дополнительной генерацией носителей электрического заряда на межфазных границах частиц либо с началом протекания по тем же границам из-за повышенного на них тепловыделения. Кроме того, в случае материала с добавками УДП диоксида марганца на вольт-амперной характеристике наблюдается гистерезис, который можно объяснить более поздним выравниваем температур частиц диоксида олова по сравнению с межфазными границами при уменьшении токовой нагрузки.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Наилучшими электрофизическими характеристиками обладают образцы состава 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO, полученные при температуре обжига 1300 ºС.

2. Замена в составе CuO на MnO_2 приводит к деградации механических свойств материала.

3. Использование комбинации УДП добавок MnO_2–CuO приводит к существенному повышению механической прочности и смене механизма разрушения от классически хрупкого до вязкохрупкого.

4. В составах с добавками УДП MnO_2–CuO обнаружена нелинейность вольт-амперной характеристики. При повышении токовой нагрузки происходит уменьшение удельного электрического сопротивления. Кроме того, на вольт-амперной характеристике обнаружен гистерезис.

Библиографические ссылки

1. Influence of the additives and processing conditions on the characteristics of dense SnO_2-based ceramics / D. Ninstro [et al.] // J. OF MATERIALS SCIENCE. 2003. № 38. P. 2727–2742.

2. Кнуняц И. Л., Зефиров Н. С., Кулов Н. Н. Химическая энциклопедия: в 5 т. Т. 3. С. 379.

3. Licxnersk B. Thick-film gas microsensors based on tin dioxid // BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES. 2004. Vol. 52, № 1.

4. Gas Sensors Based on Tin Oxide Nanoparticles Synthesized from a Mini-Arc Plasma Source / L. Ganhua [et al.] // Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials. 2006. P. 1–7.

5. Mahipal B., Mastikhi V. M. Study of tin dioxide and antimony tetroxide supported vanadium oxide catalysts by solid-state 51V and ‘H NMR technique // Solid State Nuclear Magnetic Resonance. 1992. P. 245–249.

6. H_2S Detection sensing characteristic of CuO/SnO_2 sensor / L. Jinhuat [et al.] // Sensor. 2003. № 3. P. 110–118.

7. Исследование физико-механических и электрофизических свойств электропроводящих огнеупорных керамик на основе SnO_2–Sb_2O_3–CuO / С. С. Добросмыслов [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. 2010. № 6. С. 7–10.

8. Depolarised gas anodes for aluminium electrowinning / G. M. Haarber [et al.] // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2010. № 20. P. 2152−2154.

9. Effect of Cobalt (II) Oxide and Manganese (IV) Oxide on Sintering of Tin (IV) Oxide / J. A. Cerri [et al.] // J. of the American Ceramic Society. 1996. № 79(3). P. 799.

10. Bueno P. R., Varela J. A., Longo E. SnO_2, ZnO and related polycrystalline compound semiconductors: An overview and review on the voltage-dependent resistance (non-ohmic) feature // J. of the European Ceramic Society. 2008. № 28. P. 505–529.

11. TIN OXIDE-BASED ELECTRODE COMPOSITION : Patent USA. № 20100155674 / J. P. Fourcade. Olivier Citti. 2010.

12. SnO_2-modified MnO_2 Electrode Materials for Electrochemical Capacitor // C. Yatao [et al.] // ECS Transactions. 2010. № 28(8). P. 107–115.

13. Электродные материалы на основе нанокристаллических оксидов олова, марганца и кобальта / Э. В. Панов [и др.] // Вестник Харьковского национального университета. 2010. Вып. 18 (41), № 895.

14. Microstructural evolution during sintering of CoO doped SnO_2 ceramics / J. A. Varela [et al.] // Ceramics International. 1999. № 25. P. 253–256.

15. Wang B., Wuping Kong, Hongzhu Ma Electrochemical treatment of paper mill wastewater using three-dimensional electrodes with Ti/Co/SnO_2–Sb_2O_5 anode // J. of Hazardous Materials. 2007. № 146. P. 295–301.

16. Thermodynamic reassessment of the Cu-O phase diagram / L. Schramm [et al.] // J. OF PHASE EQUILIBRIA AND DIFFUSION. Vol. 26, № 6. P. 605–612.

17. Investigation of Electrical Characteristics of High Temperature Ceramic-Metal Contact Assemblages / E. I. Stepanov [et al.] // Engineering & Technologies. 2009. № 3. P. 278–282.

18. Bueno P. R., Varela J. A. Electronic Ceramics Based on Polycrystalline SnO_2, TiO_2 and $(Sn_xTi_{1-x})O_2$ Solid Solution // Materials Research. 2006. Vol. 9, № 3. P. 293–300.

19. Structural transformation of an alumina-supported MnO_2–CuO oxidation catalyst by hydrothermal impact of sub- and supercritical water / A. Martin [et al.] // J. Mater. Chem. 2002. № 12. P. 639–645.

20. Галлахов Ф. Я., Шервинская А. К., Петрова М. А. Диаграммы состояния систем тугоплавких оксидов : в 3 т. / Институт химии силикатов. Л. : Наука, 1987.

21. Influence of the concentration of Sb_2O_3 on the electrical properties of SnO_2 varistors / J. R. Ciorcero [et al.] // J Mater Sci: Mater Electron. 2011. № 22. P. 679–682.

S. S. Dobrosmislov, V. I. Kirko, G. E. Nagibin, O. A. Rezinkina, Z. I. Popov

FEATURES OF PHYSICAL-MECHANICAL AND HIGH-TEMPERATURE ELECTRIC PROPERTIES OF CERAMIC SEMICINDUCTOR BASED ON SnO_2 WITH MnO_2 AND CuO ADDITIVE AGENTS

Ceramic semiconductors based on SnO_2 with MnO_2 and CuO additive agents were synthesized. Synthesis temperature was 1300 and 1400 ºC. Physical-mechanical and high-temperature electric properties investigation were performed. It is revealed that increase of synthesis temperature for materials with MnO_2, provides for their better agglomeration. Compositions 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO, obtained at 1300 ºC, have the best electro-physical properties. Resistance of 94 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % CuO – 2 % MnO_2 in high temperature field is 3 times higher. 96 % SnO_2 – 2 % Sb_2O_3 – 2 % MnO_2 have nonlinear currant-voltage characteristic.

Keywords: ceramic, tin oxide, conductivity, currant-voltage characteristic.

© Добросмыслов С. С., Кирко В. И., Нагибин Г. Е., Резинкина О. А., Попов З. И., 2012

УДК 629.7

В. В. Краев, Г. Г. Крушенко

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫБОРА ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ РЕЗАНИЕМ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Предложен расчетно-аналитический метод выбора припусков на обработку резанием стальных деталей силовых агрегатов, позволяющий уменьшить расход материала, трудоемкость изготовления деталей и износ инструмента.

Ключевые слова: обработка резанием, стальные детали, припуски.

Основным направлением развития производства силовых агрегатов летательных аппаратов является совершенствование технологии производства деталей [1]. Однако несмотря на внедрение высокопроизводительного оборудования и новых методов обработки, достаточно часто завышаются припуски на механическую обработку, что приводит к увеличению расхода материала, трудоемкости изготовления и износа инструмента. Следовательно, назначение минимально необходимого припуска на механическую обработку отдельных деталей и узлов турбонасосного агрегата (ТНА) в целом является важным направлением в снижении общей трудоемкости изготовления двигателя.

Ротор ТНА, являясь одной из наиболее нагруженных деталей, определяет ресурс и надежность работы двигателя. Определение минимального припуска на механическую обработку вала ротора способствует как снижению трудоемкости изготовления двигателя, так и повышению его ресурса.

Как правило, припуски назначают по таблицам нормативных величин и справочной литературы. При этом не учитывается изменение параметров качества поверхностного слоя, в результате чего не всегда дос-

тигаются не только оптимальные, но и положительные качества. Нерациональное завышение припусков приводит к перерасходу материала, увеличению трудоемкости механической обработки, повышению расхода режущего инструмента и электроэнергии. Неправильное назначение припусков не обеспечивает удаление дефектных слоев металла, достижения требуемой точности и качества поверхности, при этом повышает вероятность появления брака.

Расчетно-аналитический метод определения припусков позволяет назначать минимальные припуски на операции механической обработки для обеспечения требуемой точности. В связи с этим задачей работы явилось совершенствование расчетно-аналитического метода определения припусков деталей с учетом технологической наследственности, который представляет собой систему, включающую методики обоснованного расчета припусков, увязку расчетных межоперационных припусков с предельными размерами в зависимости от геометрической точности и качества обрабатываемой поверхности, погрешности закрепления детали.

Анализ литературы [2–4] показывает, что эксплуатационные свойства деталей машин (например, вал ротора ТНА) зависят от системы параметров качества их рабочей поверхности: макроотклонения $H_{\max}$, H_p; волнистости Wz, Wp, Sm_w; шероховатости Ra, Rz, $R_{\max}$, Rp (максимальной высоты пика профиля), Sm, S, tp; субшероховатости $R'_{\max}$, Sm'. При этом на основе анализа источников можно сделать заключение, что применяемые методы определения припусков охватывают только небольшую часть данных параметров.

Для сокращения времени и затрат на инженерные разработки целесообразно применение компьютерного проектирования с помощью CAD/CAM/CAE-систем. С условием специфичных требований к ТНА появляется возможность сократить время технологической подготовки производства, сократить время проектирования изделия, повысить качество эксплуатационных характеристик, что приведет к повышению эффективности производства и конкурентоспособности в условиях рыночной экономики.

В работе подробно представлена методика расчета припусков и допусков на механическую обработку, на базе которой разработана структурная схема и блок-схема разработанной программы. Схемы позволяют четко представлять структуру построения программы, при этом сокращается время и упрощается внесение необходимых изменений в программу.

В ходе работы программы параметры каждой операции рассчитываются методом итераций, пока не будет достигнута достаточная заданная точность обработки, используются следующие формулы [5–6].

Для расчетного припуска:

$$z_i = \left(\mathrm{Rz}_{i-1} + h_{1-1}\right) + \sqrt{\delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}\ , \qquad (1)$$

где Rz и h – параметры шероховатости на текущую операцию; δ – погрешность поверхностного слоя; ε – погрешность закрепления в приспособлении; i – номер перехода.

С учетом зависимости (1) минимальный и максимальный диаметры определяются по следующим зависимостям:

$$D_i = D_{i+1} + 2z. \qquad (2)$$

$$D_{\max} = D + TD, \qquad (3)$$

где TD – допуск размера по квалитету, мм.

Для определения технологических параметров максимальный и минимальный допуски определяются по следующим зависимостям:

$$z_{\max} = D_{\max i\text{-}1} - D_{\max i},$$

$$z_{\min} = D_{i-1} - D_i.$$

Проверочные значения, результаты которых должны совпадать, находятся как

$$TD = TD_1 - TD_i, \qquad (4)$$

$$Z = \sum_1^i z_{\max} - \sum_1^i z_{\min}\ . \qquad (5)$$

В разработанной программе используется 25 таблиц в базе данных, обеспечивающих ее работу.

Система исходных уравнений для расчета факторов, влияющих на отклонения величины напора насоса, складывается из составляющих. Основными параметрами, влияющими на стабильность напора насоса, являются отклонения за счет изменения конструктивных параметров деталей и их взаимного положения $\delta H_к$, обусловленные конструкторской документацией на изготовление и сборку, а также отклонения за счет точности поддержания режима работы насоса $\delta H_{реж}$. Указанные отклонения регламентируются конструкторской документацией и техническими условиями на данный агрегат и определяют конструктивно-технологические факторы стабильности его производства:

$$\delta H_{кт} = \pm\sqrt{\delta^2 H_к + \delta^2 H_р}\,. \qquad (6)$$

Методика расчета и последующий анализ влияния составляющих конструктивно-технологических факторов на стабильность параметров насоса основаны на решении уравнений, определяющих функциональную зависимость исследуемого параметра от конструктивно-технологических факторов.

Функциональная зависимость для каждого класса насосов излагается в виде конкретной формулы, учитывающей характер гидравлических потерь в проточной части насоса.

Например, анализ величины отклонений, влияющих на напор факторов [7; 8], показал, что все они имеют малые относительные значения, и уравнение отклонения напора можно представить в форме зависимости от конструктивных и режимных параметров в виде ряда влияющих факторов:

$$\delta H_{кт} = \pm\sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial Д_2}\frac{Д_2}{H}\delta Д_2\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial b_2}\frac{b_2}{H}\delta b_2\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial H}{\partial \dot{V}_2}\frac{\dot{V}_2}{H}\delta\dot{V}_2\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial \omega}\frac{\omega}{H}\delta\omega\right)^2}\ , \qquad (7)$$

где коэффициенты влияния соответствующих факторов на изменение контролируемого параметра определяются по выражениям:

$$a_{Д_2} = \frac{\partial H}{\partial Д_2}\frac{Д_2}{H},$$

$$a_{b_2} = \frac{\partial H}{\partial b_2}\frac{b_2}{H}\delta b_2, \ldots, a_{\dot{V}} = \frac{\partial H}{\partial \dot{V}_2}\frac{\dot{V}_2}{H}\delta \dot{V}_2, \quad (8)$$

$$a_{\omega} = \left(\frac{\partial H}{\partial \omega}\frac{\omega}{H}\delta\omega\right).$$

Система исходных уравнений для расчета отклонений контролируемых параметров и других заданных параметров насоса рассчитывается аналогичным способом. Кроме простоты анализа, полученные выражения позволяют на стадии проектирования насоса, с учетом удельного вклада каждого параметра, влияющего на стабильность характеристик, обеспечивать заданную стабильность с минимальными затратами на подготовку к производству и при выпуске продукции с учетом влияния технологического наследования.

Количественная оценка качества насосных агрегатов проводится в целях проверки ее соответствия заданным техническим заданием требованиям и получения более точных характеристик надежности ракетного комплекса. По результатам оценок надежности ТНА принимаются меры по конструкторскому, технологическому и эксплуатационному обеспечению требуемого уровня стабильности двигателя, проводится планирование затрат.

Количество выделяемых в насосном агрегате структурно-функциональных элементов устанавливается из условия максимального использования разнородной информации по испытаниям ТНА и его агрегатов с учетом количества требуемых циклов и режимов работы в составе изделия, а также физических свойств, определяющих надежность изделия.

При наличии информации по измеряемому параметру работоспособности изделия X и требований к допустимому (верхнему или нижнему) пределу изменения этого параметра используется модель «параметр – одностороннее поле допуска».

Функция надежности в этом случае имеет вид

$$P = \Phi\left(\frac{a - m_x}{\sigma_x}\right) = \Phi(U)$$

$$\text{или } P = \Phi\left(\frac{m_x - a}{\sigma_x}\right) = \Phi(U),$$

где σ_x – среднеквадратичное отклонение параметра X; $\Phi(U)$ – функция нормального распределения; m_x – математическое ожидание параметра X.

При наличии информации в виде значений измеряемого параметра X и требований к допустимым пределам изменения $a < x < b$ используется модель «параметр – двухстороннее поле допуска» [9]. Функция надежности в этом случае имеет вид:

$$P = \Phi\left(\frac{b - m_x}{\sigma_x}\right) + \Phi\left(\frac{m_x - a}{\sigma_x}\right) - 1 = \Phi(U_2) + \Phi(U_1) - 1,$$

где a – нижний допустимый предел изменения параметра; b – верхний допустимый предел изменения параметра.

Рассмотрим методологию программы технического проектирования и общий алгоритм разработки операционно-маршрутных технологических процессов обработки деталей и сборочных единиц, формирующих поточную часть насосных агрегатов.

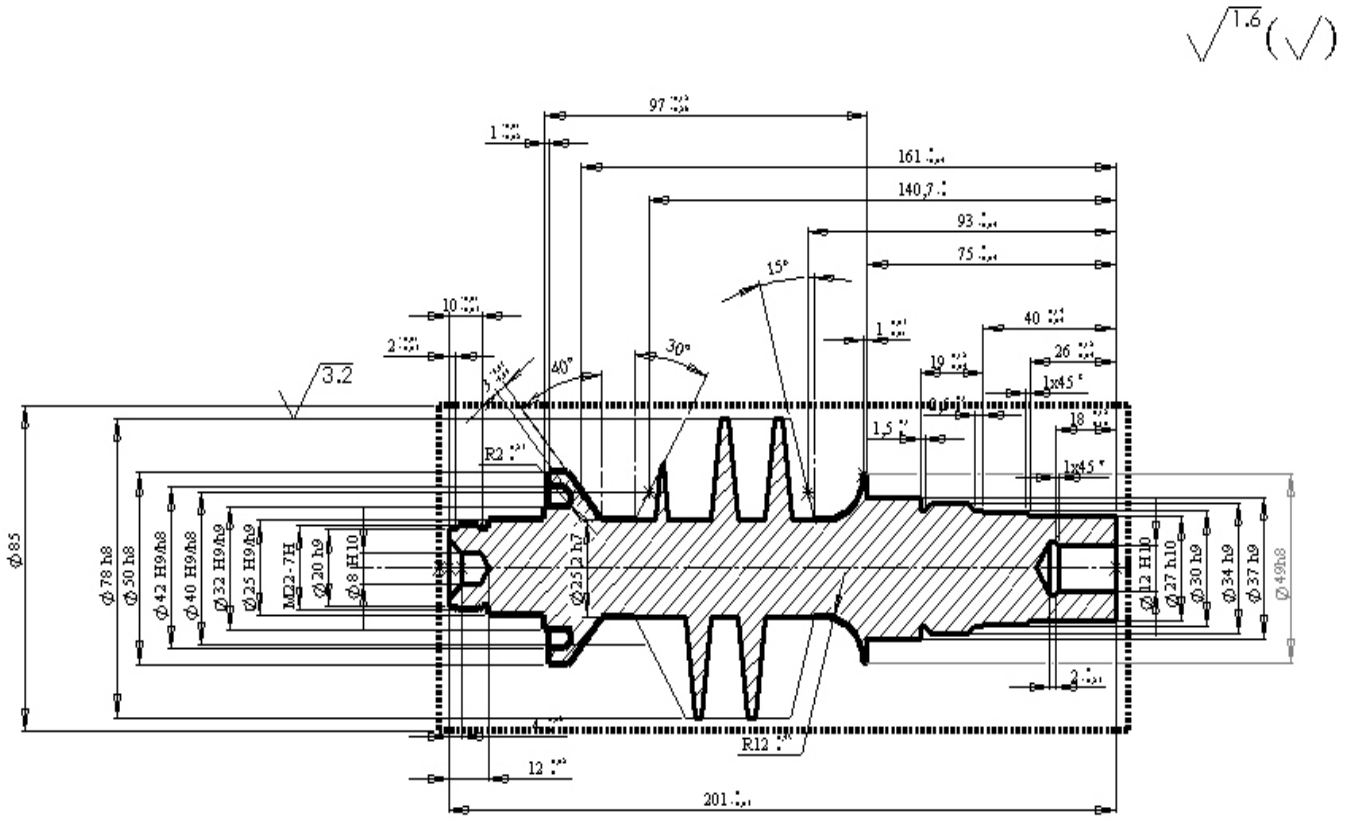
Используемая методология может быть использована в качестве универсального инструмента при анализе вновь проектируемого технологического процесса, при назначении того или иного метода обработки деталей аэрокосмического назначения с целью оценки экономичности изготовления деталей.

Анализ результатов по формированию шероховатости поверхностей при различных методах обработки [10–12] позволяет сделать вывод, что в общем случае на образование шероховатости при механической обработке влияют геометрия рабочей части инструмента и кинематики его рабочего движения относительно обрабатываемой поверхности; колебательные перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности; упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом; шероховатость рабочей части инструмента; вырывы частиц обрабатываемого материала.

Наибольшее влияние на образование шероховатости оказывает подача при ее значениях $S \geq 0{,}08$ мм/об. При $S < 0{,}08$ мм/об. шероховатость определяется в основном радиусом при вершине режущего инструмента, его шероховатостью, радиусом скругления режущей кромки и физико-механическими свойствами обрабатываемого материала и материала режущей кромки инструмента. Повышение предела текучести и уменьшение сдвиговой прочности обрабатываемого материала приводят к увеличению минимально достигаемой шероховатости при лезвийной обработке. Таким образом, шаговые параметры шероховатости поверхности при лезвийной обработке в основном определяются подачей. Основная опорная длина профиля шероховатости является стабильной и практически не зависящей от режимов лезвийной обработки. В результате расчет припусков на механическую обработку сложных деталей определяется параметрами заготовки как исходными параметрами для всех операций.

К программному обеспечению предъявляются следующие требования: универсальность, точность, адекватность и экономичность.

Программа Raschet позволяет рассчитать достаточные припуски и допуски на механическую обработку с учетом технологической наследственности детали. В результате не только конструктор получает размеры и параметры заготовки, которой достаточно для получения ротора, но и технолог, в случае цельного изготовления ротора совместно с валами, получает необходимые размеры для его изготовления.



Шнек

Работа программы рассмотрена на примере шнека (см. рисунок).

Материал заготовки – 12Х18Н10Т; КИМ не менее 0,5; масса заготовки – 10 кг; наибольший размер диаметра Ø 78h8 с шероховатостью Ra 1,6; суммарная длина – 201; общая шероховатость Ra 1,6.

Согласно программе получаем длину проката с округлением до ближайшего – 207 мм, диаметр проката – 80 мм. Исходя из размеров заготовки и марки материала, масса заготовки составляет 7,9 кг. Экономический эффект составляет 21 %. КИМ составляет 0,66 (масса детали 5,2 кг).

Таким образом, в результате проведенной работы проработан и значительно расширен расчетно-аналитический метод определения припусков на механическую обработку с учетом технологической наследственности и накопленного статистического материала и установлены механизмы их влияния на точность механической обработки. Определена значимость влияния факторов на точность обработки валов ротора ТНА. Разработаны этапы методики, которые позволяют обеспечить повышение качества валов ротора ТНА за счет обеспечения требуемой стабильности обработки и снижения трудоемкости.

Библиографические ссылки

1. Маталин А. А. Технология машиностроения. 2-е изд. СПб. : Лань, 2008.

2. Тамаркин М. А., Лебедев В. А., Гепта Д. П. Технология машиностроения. М. : Феникс, 2008.

3. Схиркладзе А. Г. Технологические процессы в машиностроении. М. : Высш. шк., 2007.

4. Виноградов В. М. Технология машиностроения. М. : Академия, 2006.

5. Холодкова А. Г. Общая технология машиностроения. М. : Академия, 2009.

6. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Я. М. Радкевич [и др.]. М. : Высш. шк., 2007.

7. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей / Г. Г. Гахун [и др.]. М. : Машиностроение, 1989.

8. Присняков В. Ф. Динамика жидкостных ракетных двигательных установок. М. : Машиностроение, 1983.

9. Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. М. : Машиностроение, 1972.

10. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Суслов [и др.]. М. : Машиностроение, 2006.

11. Обработка металлов резанием / Г. А. Менахов [и др.]. М. : Машиностроение, 1974.

12. Харламов Г. А., Тарапанов А. С. Припуски на механическую обработку. М. : Машиностроение, 2006.

V. V. Kraev, G. G. Krushenko

CALCULATING AND ANALYTICAL METHOD OF CHOOSING ENVELOPES OF METALL FOR PROCESSING POWER-GENERATING SET COMPONENTS BY STOCK REMOVAL

The authors propose a calculating-analytical method of choosing the envelopes of metal for processing power-generating set components by stock removal,which allows to reduce material consumption and also to reduce the labor intensiveness in production of the components and to decrease wear of tools.

Keywords: processing by stock removal, steel components, envelopes of metal.

© Краев В. В., Крушенко Г. Г., 2012

УДК 53.08:621.38

И. В. Немцев, А. В. Шабанов, О. В. Шабанова

ИССЛЕДОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА И ИСКУССТВЕННЫХ ОПАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ МЕТОДОМ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Описывается получение сферических частиц полиметилметакрилата, осаждение этих частиц с образованием структуры опала, пропитка опалов прекурсором, отжиг с формированием структуры инверсного опала.

Ключевые слова: электронная микроскопия, полиметилметакрилат, искусственный и инверсный опалы.

Электронная микроскопия – это метод, позволяющий решать ряд задач, связанных с исследованием объектов размером от нескольких нанометров до нескольких микрон. В растровой электронной микроскопии (РЭМ) сфокусированный пучок электронов отклоняют с помощью магнита и сканируют по поверхности образца, подобно пучку электронов, пробегающих строку за строкой на экране телевизионной трубки. При этом детектируются низкоэнергетические (< 100 эВ, обычно 20–30 эВ) вторичные электроны, возникающие в результате взаимодействия сканирующего пучка с поверхностью твердого тела [1, с. 56].

Электронный микроскоп S5500 фирмы Hitachi (с помощью которого проводились настоящие исследования) имеет следующие основные характеристики: разрешение 0,4 нм (при ускоряющем напряжении 30 кВ); максимальное увеличение 2 000 000×; возможность изменять ускоряющее напряжение от 0,5 до 30 кВ с шагом 1 кВ и ток зонда от 1 до 10 мА.

Целью данной работы было исследование размеров и морфологии сферических частиц полиметилметакрилата (ПММА) и искусственных опалов, полученных на их основе.

Пробоподготовка для исследования сфер ПММА и изготовленных из них опалов с помощью РЭМ проводилась следующим образом. Низкоконцентрированная водная взвесь сфер наносилась на алюминиевый столик РЭМ и подвергалась сушке при температуре ~ 40–50 ºС в течение 3–5 мин. В некоторых случаях на сферы и опалы напылялось золото, чтобы обеспечить сток заряда (ПММА – диэлектрик) и теплоотвод под электронным зондом, а также повысить контрастность изображения.

Затем с помощью РЭМ была получена серия электронных снимков сфер ПММА при различных увеличениях и оценены их размеры. Выяснилось, что под электронным зондом микроскопа сферы равномерно сжимаются, уменьшая свой диаметр на величину ~ 1/7 от первоначального. Так при увеличении ×10k (измерения проводились при ускоряющем напряжении 1 kV и токе 10 μA, что соответствует 0,01 Вт подводимой мощности; таким образом, плотность потока энергии составила от 1 до 30 мВт на 1μm^2) размер сфер составил ~ 350 нм; при увеличении ×25 k – ~ 315 нм; при увеличении ×50 k – ~ 300 нм; при увеличении ×200 k – ~ 280 нм (рис. 1, 2).

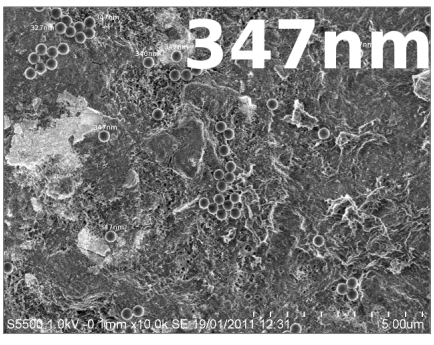


Рис. 1. Сферы ПММА при увеличении в 10 000 крат

Вероятно, сферы внутри пористые, поэтому происходит их усадка, так как при локальном нагреве электронным зондом поры «схлапываются», и сфера под действием сил поверхностного натяжения уменьшает площадь поверхности.

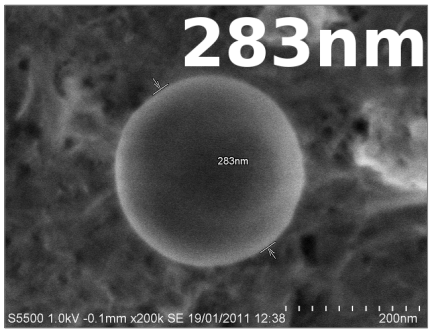


Рис. 2. Сферы ПММА при увеличении в 200 000 крат

Усадка сфер не может быть результатом какой-либо химической реакции (например, полимеризации), так как ПММА – это уже до конца прореагировавший полимер. Кроме того, через 1–2 мин непрерывного облучения сфера перестает менять геометрические размеры, это позволяет считать, что разложение органики под действием электронного пучка незначительно.

Так, в другом образце диаметр сфер ПММА уменьшился с 430 до 360 нм (рис. 3–5). Экспериментальным путем было установлено, что сферы сжимаются до определенных размеров, после чего сохраняют диаметр независимо от увеличения и времени выдержки под электронным пучком.

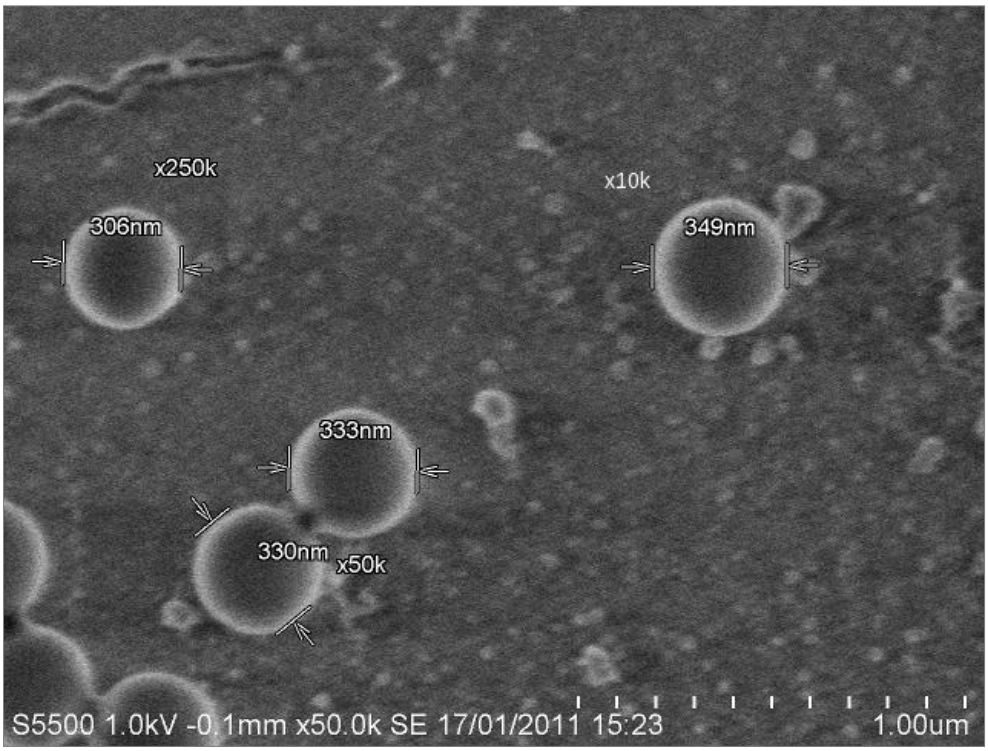


Рис. 3. Сравнительные размеры сфер ПММА после воздействия электронного луча с различными плотностями токов

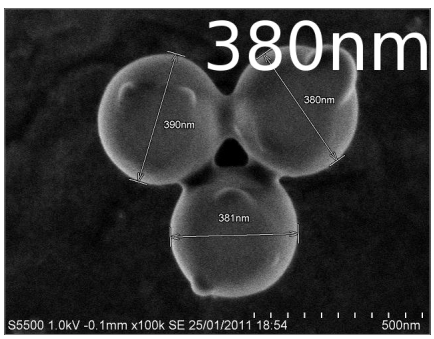


Рис. 4. Сферы ПММА при увеличении в 100 000 крат

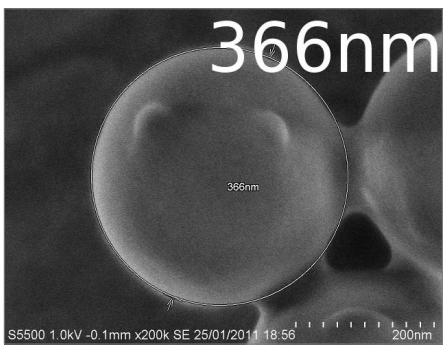


Рис. 5. Сферы ПММА при увеличении в 200 000 крат

Из водных суспензий сферических частиц ПММА путем осаждения была сформирована матрица искусственного опала.

Известно, что шарам математически выгодно упаковываться в плотнейшую гексагональную упаковку (коэффициент заполнения ~ 0,74) [2]. Электронная микроскопия подтвердила теоретические расчеты касательно упаковки сфер в опале: она строго гексагональная (рис. 6).

Скомпонованные сферы подвергаются упрочнению с формированием инверсных опалов. Эта подготовка заключается в вакуумном проникновении в поры матрицы из сфер ПММА прекурсора (например, алкозоля кремнезема, приготовленного из тетраэтоксисилана, раствора тетраэтоксититана в диэтиловом эфире или этилата олова) [3] и удалении шаблона прокаливанием.

Полный цикл прокаливания (сушка, обжиг для удаления ПММА и органических компонентов прекурсора, а также медленное, чтобы избежать растрескивания образцов, охлаждение) требует около 48 ч.

Сферы ПММА выгорают, образуя пустоты, а ксерогель SiO_2 образует стенки в инверсном опале. Полученная структура носит название «инверсный кварцевый опал» (рис. 7).

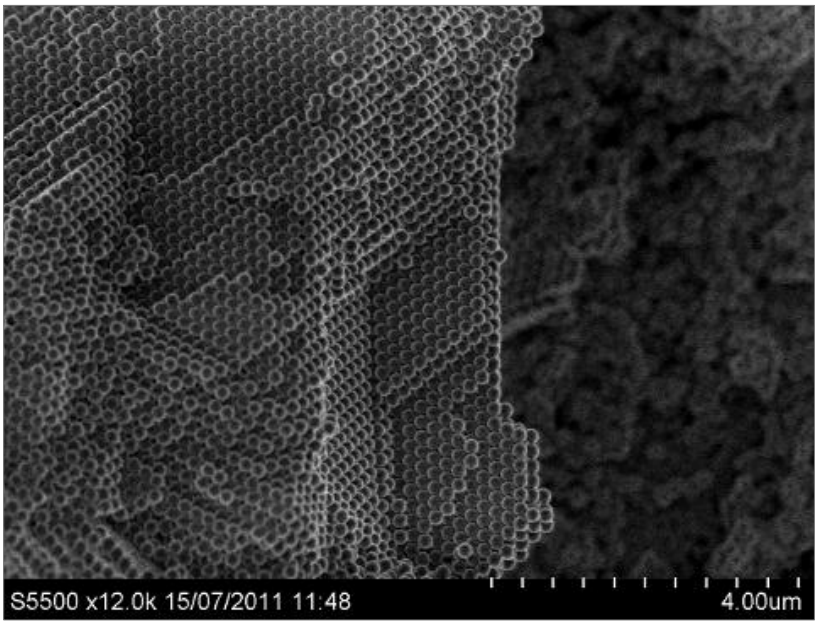


Рис. 6. Искусственный опал из ПММА при увеличении в 12 000 крат

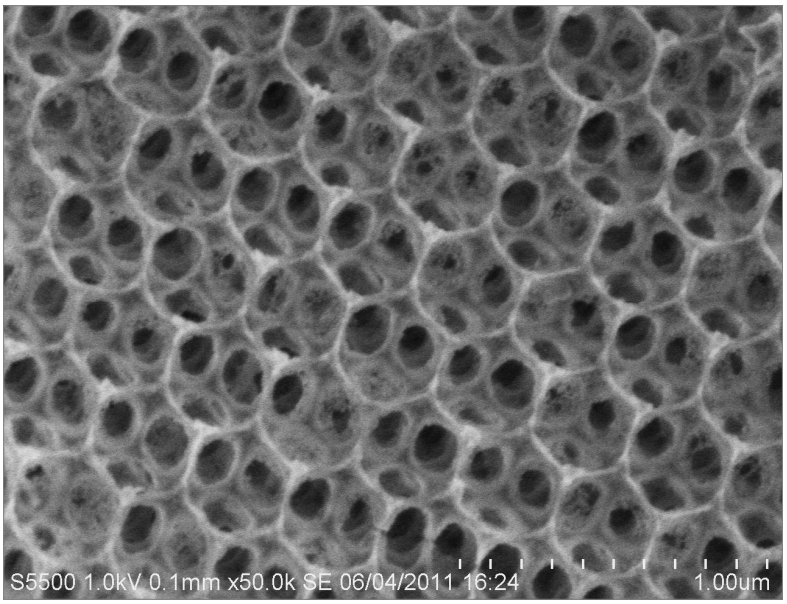


Рис. 7. Инверсный кварцевый опал (ускоряющее напряжение 1 кВ)

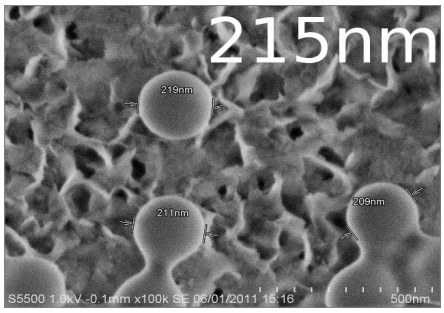


Рис. 8. Сферы ПММА

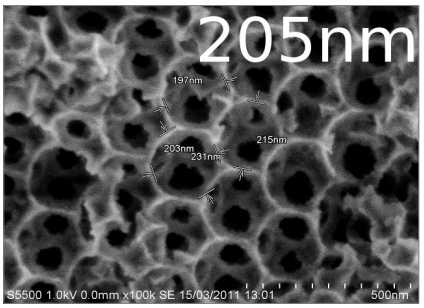


Рис. 9. Инверсный кварцевый опал, полученный из сфер ПММА

На рис. 8, 9 приведены электронные снимки сфер ПММА и полученного из них инверсного опала. Видно, что диаметр пор меньше диаметра осажденных сфер из-за усадки при отжиге.

В результате проведенного исследования предоставленных сфер ПММА и искусственных опалов на их основе с помощью растрового электронного микроскопа были получены следующие результаты:

– выявлено изменение размеров сфер под действием электронного пучка;

– исследована структура искусственных и инверсных кварцевых опалов;

– экспериментальным путем доказано, что упаковка сфер в опале – плотнейшая гексагональная.

Библиографические ссылки

1. Шабанова Н. А. Химия и технология нанодисперсных оксидов : учеб. пособие. М. : Академкнига, 2001.

2. Китайгородский А. И. Молекулярные кристаллы. М. : Наука, 1971.

3. Суйковская Н. В. Химические методы изучения тонких прозрачных пленок / отв. ред. Е. А. Подгорная. Л. : Химия, 1971.

I. V. Nemtsev, A. V. Shabanov, O. V. Shabanova

ELECTRON MICROSCOPY INVESTIGATION OF POLYMETHYLMETHACRYLATE SPHERICAL PARTICLES & ARTIFICIAL OPALS BASED ON IT

The authors describe production of spheric particles of polymethilmethacrilate by means of their sedimentation and following generation of solid opal-like structures, with following annealing and formation of inverse structure opal.

Keywords: field emission electron microscopy, polymethilmethacrilate, artificial and inverse opals.

© Немцев И. В., Шабанов А. В., Шабанова О. В., 2012

УДК 621.315.592

О. И. Подкопаев, А. Ф. Шиманский, П. С. Бычков, В. В. Вахрин

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОГО КИСЛОРОДА НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГЕРМАНИЯ

Методом ИК-Фурье-спектроскопии определено содержание оптически активного кислорода в монокристаллах полупроводникового германия различных марок. Установлена взаимосвязь концентрации кислорода и плотности дислокаций.

Ключевые слова: германий, монокристаллы, плотность дислокаций, ИК-Фурье-спектроскопия, содержание кислорода.

Монокристаллы германия с минимальным содержанием дефектов, прежде всего дислокаций, имеют колоссальную перспективу в связи с развитием полупроводниковых нанотехнологий. Такие кристаллы востребованы в фотоэлектронике в качестве подложек для эпитаксиальных A^{III}–B^{V} оптико-электронных структур, которые используются для изготовления солнечных элементов на основе систем GaInP/GaInAs/Ge, являющихся эффективными фотопреобразователями, имеющими КПД выше 39 %. Бездислокационный

германий обеспечивает решение проблем, возникающих в связи с использованием кремния при создании наноразмерных транзисторных структур. Высокая подвижность носителей заряда > 2 000 $см^2/В×с$ (минимум в 2 раза выше, чем в Si) позволяет с большим успехом использовать его для создания быстродействующих ячеек памяти. Малодислокационный германий необходим в производстве радиационно стойких фотоэлектрических детекторов, где требуются кристаллы с содержанием линейных дефектов порядка 100 $см^{-2}$ и менее [1; 2].

Одной из вредных примесей, оказывающих влияние на дефектную структуру и свойства монокристаллов Ge, является кислород [3; 4].

В связи с этим целью работы явилось определение содержания оптически активного кислорода в монокристаллическом германии различных марок и выявление взаимосвязи концентрации кислорода и плотности дислокаций.

Методика проведения исследования. Для проведения экспериментов применяли ИК-Фурье-спектрометр Nicolet 380. За основу принимали стандартную методику определения содержания кислорода в кремнии [5]. В отличие от Si, исследование Ge производили с использованием модернизированной приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) Smart Performer. Из конструкции приставки удаляли кристалл ZnSe и на его место устанавливали исследуемый образец, к поверхности которого прижимали наконечник спектрометра. Такая методика измерений позволяет исключить из оптической схемы держатель образцов и исследовать кристаллы произвольной формы с плоскопараллельными противолежащими поверхностями в широком диапазоне их геометрических размеров. В таких условиях возможна работа с пластинами большого диаметра до 160 мм, без их разрушения.

Регистрацию ИК-спектров осуществляли в диапазоне волновых чисел от 700 до 1 000 $см^{-1}$ с накоплением 32 спектров. Расчет содержания O_2 проводили по интенсивности кислородного пика с волновым числом 842,780 $см^{-1}$ [6] относительно базовой линии по известной формуле [5], скорректированной на длину луча:

$$N = 1,05 \cdot 10^{17} \left(2,3 \cos 10,08^0 \cdot \frac{D}{2d} \right) \text{ см}^{-3}, \qquad (1)$$

где D – оптическая плотность относительно базовой линии в интервале волновых чисел от 700 до 1000 $см^{-1}$; d – толщина образца; 10,08 ^{o} – угол, под которым ИК-излучение проходит через кристалл германия с показателем преломления, равным 4,0, в исследуемом волновом диапазоне.

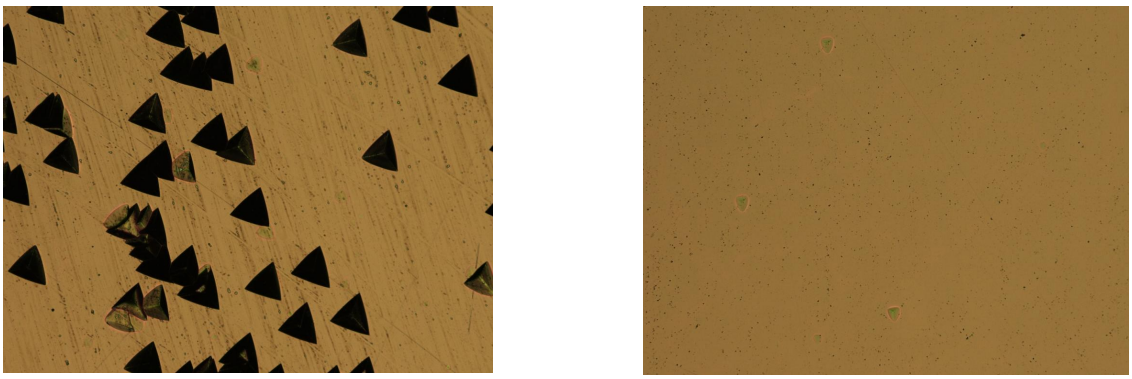
Объектами исследования служили монокристаллы германия, выращенные в кристаллографическом направлении по методу Чохральского. Из исследуемых кристаллов вырезали образцы в форме пластин толщиной 10 мм, затем их обрабатывали на шлифовальном станке Satis LOH-200 и подвергали полированию до шероховатости поверхности Ra = 0,01. Для выявления дислокаций пластины травили в течение 3 мин в водном растворе, содержащем 12 масс. % КОН и 8 масс. % $K_3Fe(CN)_6$.

Результаты и обсуждение. Регистрацию ИК-спектров проводили на монокристаллах германия оптического качества марки ГМО и особо чистого германия (ОЧГ), плотность дислокаций в которых составляла $2,5 \cdot 10^3$ $см^{-2}$, а также на бездислокационных кристаллах *p*-типа, легированных галлием.

Галлий добавляется в расплав германия с целью связывания растворенного в нем кислорода, как раскислитель, имеющий большее химическое сродство к кислороду, нежели германий. При этом кислород выводится из расплава в составе шлака, а также связывается в кластерные структуры и в неактивной форме захватывается растущим кристаллом [7].

Микрофотографии протравленной на дислокации поверхности исследуемых образцов приведены на рис. 1.

ИК-спектры кристаллов ОЧГ и ГМО оказались подобными. Пример их типичного спектра приведен на рис. 2, кривая *1*. Он характеризуется наличием интенсивного пика с волновым числом 842,780 $см^{-1}$, обусловленного присутствием в кристаллах оптически активного кислорода.



а *б*

Рис. 1. Микрофотографии поверхности монокристаллических образцов, ×100:
а – ГМО и ОЧГ с плотностью дислокаций ~ 2 500 $см^{-2}$; *б* – бездислокационный кристалл

По результатам расчета по формуле (1) содержание атомов кислорода в исследуемых кристаллах составляет (0,90…1,20)· 10^{16} $см^{-3}$.

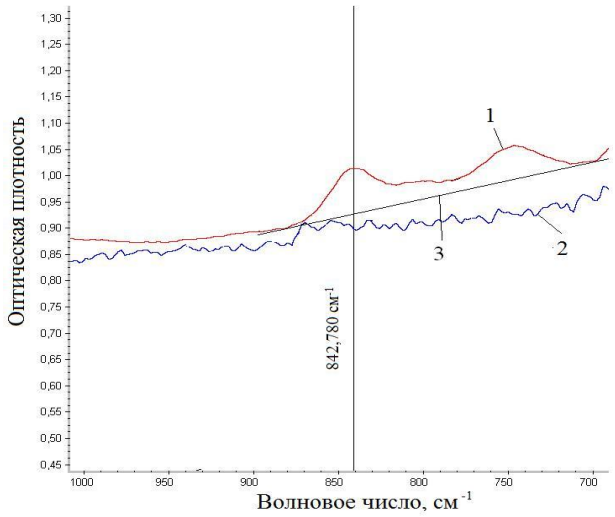


Рис. 2. ИК-спектры кристаллов германия:
1 – образцы ГМО и ОЧГ; *2* – малодислокационный германий; *3* – базовая линия

Спектр бездислокационных кристаллов (рис. 2, кривая *2*) отличается от рассмотренных отсутствием пика, отвечающего колебаниям связи Ge–O, что является следствием низкого содержания O_2 на уровне чувствительности спектрометра < $0{,}20\cdot10^{16}$ $см^{-3}$.

Полученные экспериментальные данные коррелируют с результатами работы [6], в которой также изучались ИК-спектры бездислокационных кристаллов Ge *p*-типа. Исследования проводились на монокристаллах непосредственно после их выращивания, а также после отжига в вакууме при 10^{-8} атм и температуре 700 К. Полученные ИК-спектры приведены на рис. 3.

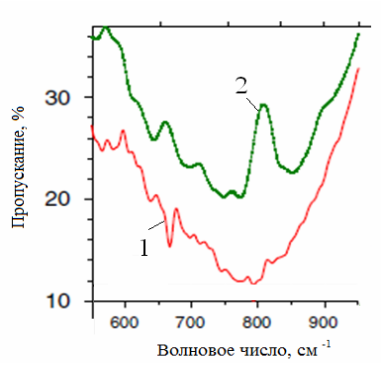


Рис. 3. ИК-спектры бездислокационного германия, легированного галлием:
1 – до отжига; *2* – после отжига в вакууме при 700 К [6]

Как следует из приведенных данных, кислородный пик в спектре бездислокационных кристаллов отсутствует, как и в нашем случае. Вместе с тем данный пик появляется после отжига кристаллов в вакууме, как следствие взаимодействия германия с остаточным кислородом среды. Оценим вероятность протекания взаимодействия германия с кислородом при температуре выращивания кристаллов германия 1273 К по величине $\Delta G^{\circ}_{1273\,K}$ реакции:

$$Ge+O_2 = GeO_2. \qquad (2)$$

Можно показать, что для данной реакции $\Delta G^{0}_{1273\,K}$ составляет −334 995 Дж. В соответствии с законом действующих масс

$$\Delta G^{0}_{1273\,K} = -RT\ln K_P = RT\ln P_{O_2(GeO_2)}, \qquad (3)$$

где $P_{O_2(GeO_2)}$ – давление диссоциации GeO_2, являющееся критерием сродства германия к кислороду. По результатам расчета по уравнению (3) значение $P_{O_2(GeO_2)}$ при 1273 К составляет $1{,}76\cdot10^{-14}$ атм.

Из этого можно сделать вывод о том, что в течение процесса выращивания монокристаллов Ge из расплава при парциальном давлении кислорода в газовой фазе, превышающем расчетную величину $1{,}76\cdot10^{-14}$ атм (что соответствует содержанию кислорода в газе, равному $1{,}76\cdot10^{-4}$ ppm, при давлении в системе 1 атм), будет протекать реакция окисления германия с образованием в расплаве гетерогенных включений GeO_2, являющихся источником образования дислокаций, и, соответственно, будет наблюдаться нарушение структуры растущего кристалла.

На основании проведенных исследований можно заключить, что плотность дислокаций и концентрация O_2 в монокристаллах германия взаимосвязаны, причем, кислород является одним из факторов, определяющих структурное совершенство кристаллов.

Библиографические ссылки

1. Claeys C. L., Simoen E. Germanium-based technologies: from materials to devices. Elsevier, 2007.

2. Depuydt B., Theuwis A., Romandic I. Germanium: From the first application of Czochralski crystal growth to large diameter dislocation-free wafers // Materials Science in Semiconductor Processing (August–October). 2006. Vol. 9. Iss. 4–5. P. 437–443.

3. Claeys C. L., Simoen E. Extended Defects in Germanium: Fundamental and Technological Aspects. Springer, 2009.

4. Taishi T., Ohno Y., Yonenaga I. Reduction of grown-in dislocation density in Ge Czochralski-grown from the B_2O_3-partially-covered melt // J. of Crystal Growth. 2009. Vol. 311. Iss. 22. P. 4615–4618.

5. ГОСТ 19658–81. Кремний монокристаллический в слитках. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1981.

6. Seref Kalema, Romandicb I., Theuwis A. Optical characterization of dislocation free Ge and GeOI wafers // Materials Science in Semiconductor Processing. 2006. № 9. P. 753–758.

7. Кирьянова Т. В., Рябец А. Н., Левинзон Д. И. Свойства кислородсодержащего германия, легированного редкоземельными элементами // Складні системи і процеси. 2003. № 2. С. 12–17.

O. I. Podkopaev, A. F. Shimansky, P. S. Bychkov, V. V. Vahrin

THE INFLUENCE OF OPTICALLY ACTIVE OXYGEN CONTENT ON THE DEFECT STRUCTURE OF SINGLE CRYSTAL GERMANIUM

The authors propose a technique to determine the content of optically active oxygen in single crystal germanium by Fourier infrared spectroscopy and determine concentration of oxygen in germanium samples of different views. The interrelationship of optically active oxygen and dislocation density is revealed as well.

Keywords: germanium single crystals, the dislocation density, FT-IR spectroscopy, the oxygen content.

© Подкопаев О. И., Шиманский А. Ф., Бычков П. С., Вахрин В. В., 2012

УДК 621.6.09: 534.01

Е. В. Раменская, Ю. А. Филиппов, Н. А. Амельченко

МЕХАНИЗМ ГЕНЕРИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИБРАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Изложены новые результаты исследований в области механики технологических процессов изготовления изделий ракетно-космической техники, раскрывающие механизм образования вибрации на основе принципа формирования и распространения цепной реакции процесса колебания в технологических машинах.

Ключевые слова: механизм, вибрация, технологический процесс, моделирование.

В последние годы заметно оживился темп роста освоения новых изделий ракетно-космической техники, сопровождающийся вводом в эксплуатацию прогрессивных средств технологического оснащения (СТО) и модернизацией существующего парка технологических машин. При анализе мировых показателей конкурентоспособности СТО по пяти направлениям – точность, надежность, производительность, удобство обслуживания, безопасность работы – важное место занимают вопросы оценки вибрационных процессов, понимания и объяснения механизма генерирования вибрации в рабочих машинах.

Технологическая постановка задачи. Раскрытие механизма генерирования вибрации в СТО расширяет эффективность их использования, заключающуюся в обеспечении рациональных режимов обработки заготовок по условию минимизации амплитуд компонент вибрации. В технологических системах наибольший интерес представляет степень влияния вибрации на шероховатость и точность обработки.

Основными причинами возбуждения вибрации в СТО являются режимы резания и подачи, особенности конструктивного исполнения режущего инструмента и СТО [1]. При этом значительную роль играют неравномерные вращательные и (или) поступательные движения рабочих валов и суппортов, эксцентриситет между осью вращения шпинделя с режущим инструментом и осью, проходящей через центры элементарных подвижных и вращающихся масс, принадлежащих базовым механизмам.

Физическая постановка задачи. В технологических машинах, работающих со стружкообразованием и без него, в процессе работы возникают разнообразные механические неуправляемые движения в форме поперечных, угловых, случайных колебаний. Установление механизма и концептуальных причин возникновения колебательных процессов в рабочих машинах является тем фактором, который позволяет активно управлять параметрами вибрации. Это особенно важно на стадиях анализа и формирования проектных решений, разработки конструкторской документации конкурентоспособной продукции.

Физико-механические свойства материалов определяются химическим составом и строением их атомов. Орбитальная скорость движения электрона 10^6 м/с согласуется со скоростью распространения упругих волн деформации в металле $6{,}7 \cdot 10^3$ м/с [2].

При взаимодействии между положительными ионами и отрицательными коллективизированными электронами действуют электрические силы притяжения, стягивающие между собой ионы. Частота колебаний атомов порядка 10^{13} Гц [3].

Математическая постановка задачи. Механика технологических процессов формообразования контура деталей базируется на математических началах Ньютона и Лагранжа, базовой теории малых колебаний. Конструкции СТО обладают жесткостью, массой, упругостью динамической системы, характеризующими вибрационные процессы и входящими в дифференциальные уравнения движения. При определенных условиях вибрация может быть опасной для конструкций по признакам разрушения и вредной с точки зрения снижения качества и производительности обработки. Основной задачей в теории управления динамики работы СТО является удержание

и снижение амплитуды компонент вибрации в допустимых пределах.

Аподиктические признаки задачи управления вибрационными явлениями в СТО базируются на логической необходимости раскрытия связи явления вибрации в технологических машинах на основе использования физической сути явления.

О равновесии системы можно судить по характеру движения после выведения ее из равновесного состояния. При колебательном движении система может быть устойчивой и неустойчивой. При одновременном действии восстанавливающих и возмущающих сил механическая система совершает сложное колебательное движение с двумя составляющими: гармоническим свободным колебанием и вынужденным колебанием. При свободных колебаниях амплитуда и начальная фаза колебаний являются произвольными и постоянными, определяемыми по начальным условиям; а при вынужденных колебаниях дифференциальные уравнения движения не содержат произвольных постоянных и не зависят от начальных данных. Частота и период вынужденных колебаний совпадают с частотой и периодом изменения возмущающей силы. При этом если вынужденная частота меньше частоты свободных колебаний, вынужденные колебания и возмущающая сила находятся в одинаковых фазах и с ростом вынужденной частоты растет и амплитуда колебаний. Если вынужденная частота больше частоты свободных колебаний, тогда вынужденные колебания и возмущающая сила находятся всегда в противоположных фазах. В этом случае с увеличением вынужденной частоты амплитуда колебания уменьшается, это важно для СТО, работающих со стружкообразованием. Амплитуда вынужденных колебаний зависит от значения модуля нагрузки и от изменений вынужденной частоты силы.

В общем случае амплитуда вынужденных колебаний может быть оценена рядом известных уравнений, представленных в ГОСТ 24347–80.

В дифференциальное уравнение движения упругой системы входят силы инерции, сопротивления, упругости и возмущения [4]:

$$mq'' + \alpha q' + cq = F \cdot \sin \omega t, \qquad (1)$$

где m – масса; α – коэффициент сопротивления; c – жесткость; ω – вынужденная частота.

Обобщенная возмущающая сила равна

$$F = \sum_{i=1}^{n} (F_{ix} dx_i / dq + F_{iy} dy_i / dq + F_{iz} dz_i / dq), \qquad (2)$$

где F_{ix}, F_{iy}, F_{iz} – проекции силы F_i на оси x_i, y_i, z_i декартовых координат. Сопротивление увеличивает период свободных колебаний, затухание колебаний при этом идет интенсивнее.

Приведенное уравнение движения в обобщенных координатах, записанное в форме ускорения, имеет вид

$$q'' + 2hq' + p^2 q = H_j \cdot \sin \omega t, \qquad (3)$$

где h – коэффициент демпфирования; p – частота собственных колебаний; H – приведенная нагрузка.

Решение уравнения движения дает закон движения исследуемой упругой системы.

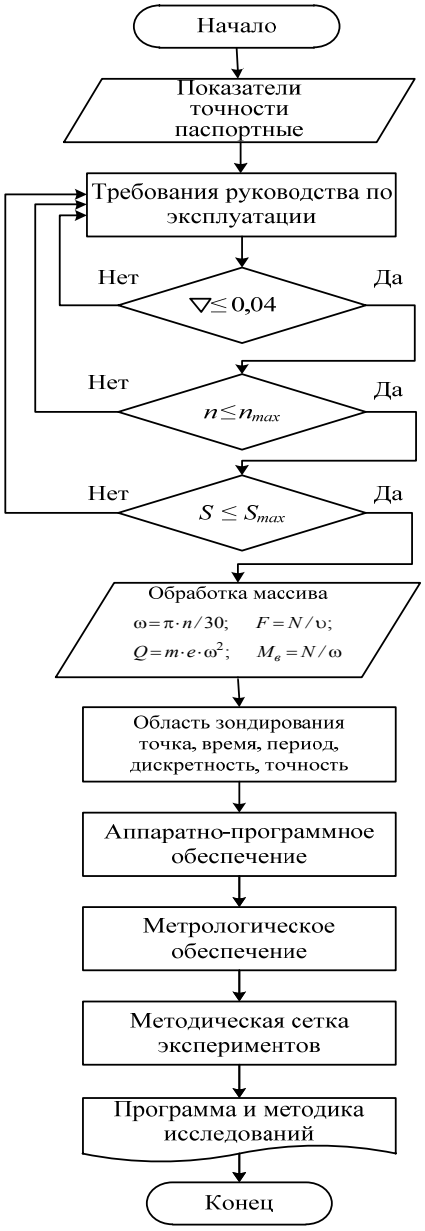


Рис. 1. Феноменологическая модель исследования вибрации рабочей машины

Уравнения угловых колебаний в обобщенных координатах имеют вид

$$I\psi'' + \beta\psi' + C\psi = M \cdot \sin \omega t,$$
$$\psi'' + 2\xi\psi' + \chi^2\psi = T \cdot \sin \omega \cdot t, \qquad (4)$$

где I – момент инерции твердого тела; β – коэффициент сопротивления при угловых колебаниях; ξ – коэффициент демпфирования для угловых колебаний.

Приведенные компоненты вибрации в процессе исследования, как правило, регистрируются стандартной измерительной аппаратурой, например, переносным виброметром типа СМ 3001 или модели АТТ 9002 [5].

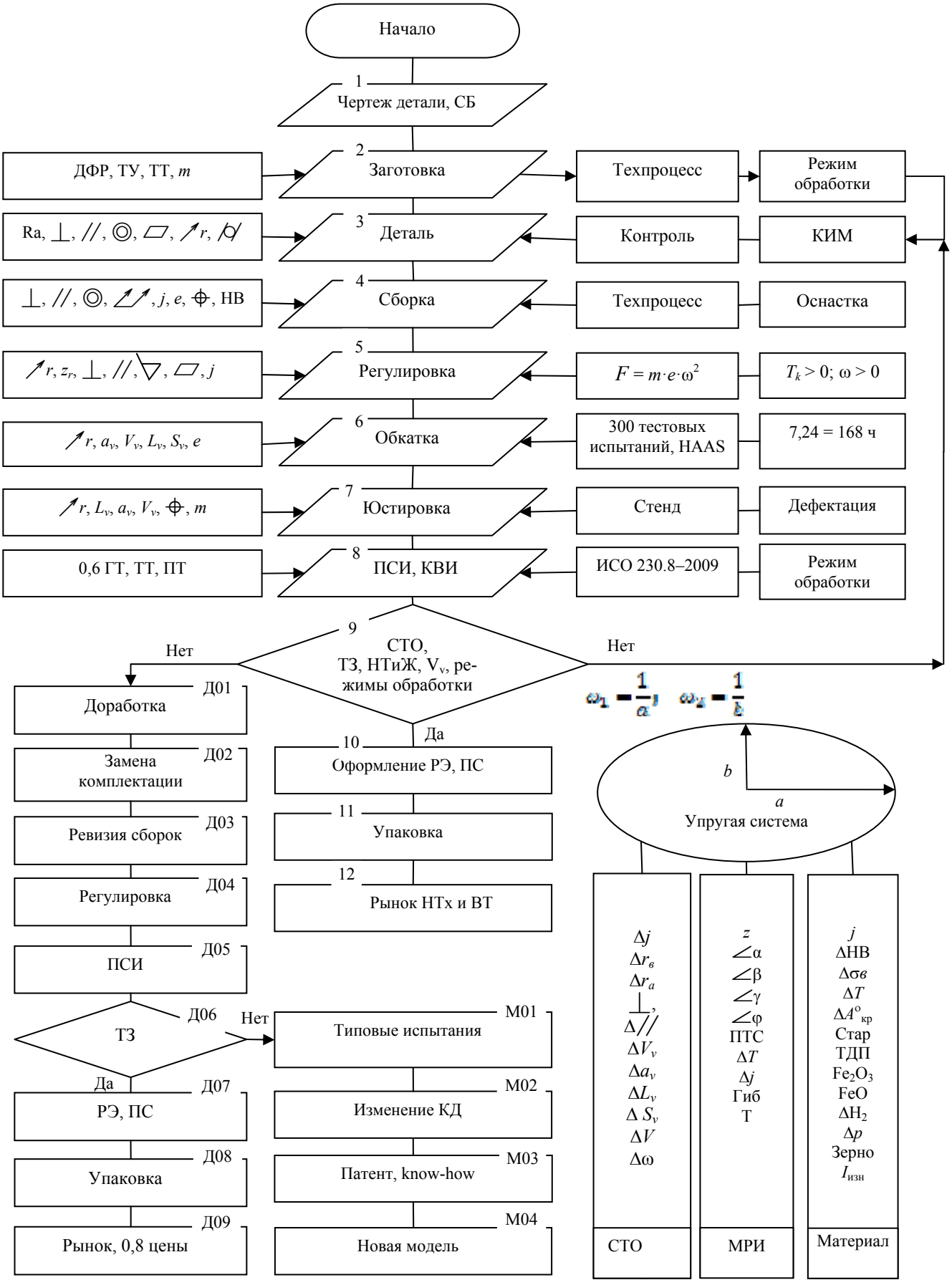


Рис. 2. Технологическая модель генерирования вибрации в технологической машине

На основе фундаментальных уравнений малых колебаний разрабатываются алгоритмы исследования, измерения и регистрации компонент вибрации с их параметрами: амплитудой, частотой и периодом. Базовым документом при выполнении физического измерения может послужить технический регламент ISO/TR 230-8–2009 «Свод правил по испытанию станков. Часть 8. Оценка уровней вибрации».

Разработка феноменологической модели. Изложение и решение задачи раскрытия механизма генерирования вибрации начинается с представления и анализа феноменологической модели [6] (рис. 1).

При этом выполняется теоретическая проработка рабочей документации СТО с оценкой величин геометрической, технологической, параметрической точности и параметров, входящих в техническую характеристику; определяются конкурирующие технологические показатели режима и динамики базового процесса; выполняется первичная привязка измерительных устройств к объекту исследования.

Руководствуясь феноменологической моделью, строится технологическая модель исследования механизма генерирования вибрации (рис. 2), например, в процессе изготовления товарной продукции в виде детали.

На рис. 2 приняты следующие условные обозначения: ДФР – допуск формы и расположения поверхностей; ТУ – технические условия; ТТ – технические требования; m – масса; Ra – шероховатость; $\perp$ – допуск перпендикулярности; // – допуск перпендикулярности; ◎ – допуск соосности; ▱ – допуск плоскостности; $\nearrow r$ –радиальное биение; ⌭ – допуск цилиндричности; ⌰ – полное биение; j – жесткость системы; e – эксцентриситет; ⌖ – точность позиционирования; НВ – твердость. z_r – радиальный зазор; ∀ – установка по уровню, мм/м; a_v – виброускорение; V_v – виброскорость; L_v – логарифмический уровень акустических характеристик; S_v – виброперемещение; 0,6 ГТ – сдаточные нормы геометрической точности; ТТ – нормы технологической точности; ПТ – нормы параметрической точности; СБ – сборочный чертеж; ПСИ – приемосдаточные испытания; КВИ – контрольно-выборочные испытания; СТО – средства технологического оснащения; ТЗ – технического задание; НТиЖ – нормы точности и жесткости; РЭ – руководство по эксплуатации; ПС – паспорт; НТх и ВТ – новая техника и высокие технологии; КД – конструкторская документация; T_k – кинетическая энергия; ω – вынужденная частота; 7,24 = 168 ч – типовые испытания; КИМ – коэффициент использования материала; 0,8 цены – реализация по себестоимости; ИСО 230.8–2009 – международные стандарты по испытаниям станков; Д01–Д09 – доработка; М01–М04 – метрологическое обеспечение. Для СТО (средств технологического оснащения): Δj – отклонение от жесткости; Δr_a и $\Delta r_в$ – погрешности передней и задней опоры; $\perp$ – допуск перпендикулярности; Δ// – отклонение от параллельности; ΔV_v – отклонение от виброскорости; Δa_v – отклонение от виброускорения; ΔL_v – отклонение от логарифмического уровня; ΔS_v – отклонение от виброперемещения; ΔV – отклонение от скорости; Δω – отклонение вынужденной частоты. Для МРИ (металлорежущего инструмента): z – число зубьев; ∠α, ∠β, ∠γ, ∠φ – углы режущей кромки инструмента; ПТС – пластины твердосплавные; ΔT – стойкость инструмента; Δj – отклонение от жесткости; Гиб – гибкость; Т – температура. Для материала: j – жесткость; ΔНВ – разброс твердости; $\Delta\sigma в$ – отклонение от предела текучести; ΔT – температуростойкость; $\Delta A^{o}_{кр}$ – эффект старения; Стар – старение; ТДП – термодинамические процессы; Fe_2O_3 – формирование пленок; H_2 – водораживание; Δp – погрешность плотности; Зерно – зернистость; $I_{изн}$ – параметр износа.

По результатам проработки формируется структура, программа и методика испытаний СТО, класс точности измерительных приборов для получения результатов испытаний не ниже 3-й степени точности при 2-м классе точности приборов, регламентированных техническими регламентами серии ИСО 230.

Анализ рабочих и сборочных чертежей изделия, технических условий и входящих технических требований заканчивается разработкой маршрутного и операционного технологических процессов.

Сложный процесс формирования механизма генерирования вибрации в технологических системах представлен в виде развития цепной реакции (рис. 3), впервые рассмотренной академиком Н. Н. Семеновым для процесса горения.

На рис. 3 приняты следующие условные обозначения: ▽ – точки и область зондирования компонент вибрации при экспериментальных исследованиях; $e_э(\omega)$ – градиент скорости изменения магнитного зазора, шага зубцов, напряжения питания электродвигателя привода первого механизма, подлежащего пуску для начала работы; $e_{ск}$ – параметры собственных колебаний системы, а также характеристики внешних факторов окружающей среды по сейсмичности; $e_{Mx}(\omega)$ – градиент изменения угловой скорости якоря электродвигателя от влияния зазора в опорах, соосности, радиального биения; $e_M(p)$ – вариация собственной частоты колебания двигателя от изменения электромагнитных и электромеханических постоянных времени двигателя; $e_c(\omega)$ – характеристика жесткости; $e_m(\omega)$ – влияние элементарных подвижных масс системы; $e_l(\omega)$ – влияние линейно-угловых размеров конструкции механизмов; $e_y(\omega)$ – статический и динамический прогиб рабочих валов; $e_{перед}(\omega)$ – $e_{вал}(\omega)$ – градиенты амплитуд вибрации вращающегося вала; $e_{подш}(\omega)$ – амплитуда вибрации в подшипниках базовых механизмов; $e_\omega(\omega)$ – изменение частоты вращения рабочего вала от вариации динамических нагрузок; $e_{рег}(\omega)$ – удельный регламентированный дисбаланс подвижных масс; $e_{посад}(\omega)$ – характер изменения посадки опоры; $\varnothing T_{pc}$ – влияние соосности вращающихся валов; $e(p)$ – вариация частоты собственных колебаний технологической системы; $e_{РИ}(\omega)$ – градиент амплитуды от способа и точности подготовки режущего инструмента; $e_z(\omega)$ – влияние шага зубьев режущего инструмента на формирование ударных явлений;

$e_{\beta}(\omega)$ – влияние контурных и динамических углов на силы сопротивления резанию; $e_{\text{износ}}(\omega)$ – влияние износа на траекторию движения исполнительных органов; $e_{Th}(\omega)$ – изменение постоянной времени демпфирования материала инструмента и упругой системы машины; $e_{\text{ТК}}(\omega)$ – изменение амплитуды тел качения в опорах от точности их изготовления; $e_{\text{кп}}(\omega)$ – вариация амплитуды колебания колец подшипника; $G2$, $G6$ – регламентированные классы точности балансировки рабочих валов; $e_{\text{да}}(\omega)$ – вариация размеров детали; $e_{V\text{р}}(\omega)$ – вариация скорости резания; $e_F(\omega)$ – изменение сил сопротивления резанию; $e_n(\omega)$ – изменение частоты вращения от режимов резания; $e_{\mu 1}(\omega)$, $e_{\mu 2}(\omega)$, $e_{\mu 3}(\omega)$, $e_{\mu 4}(\omega)$, $e_{\mu 5}(\omega)$, $e_{\mu 6}(\omega)$, $e_{\mu 7}(\omega)$, $e_{\mu 8}(\omega)$, $e_{\mu 9}(\omega)$ – градиент амплитуды колебания молекул, атомов, ионов в материале от действия технологических факторов, вызывающих деформации и изменения температуры.

По методологии анализа цепных процессов проблемная задача раскрывается ее решением по трем направлениям начала образования механизма и развития процесса вибрации в технических системах.

Первое направление – инициирование процесса вибрации; второе – развитие процесса; третье – стабилизация процесса.

Во всех направлениях прорабатываются критерии минимизации необходимого и достаточного условия активного управления градиентом базовой характеристики процесса вибрации конструкции СТО:

$$\lim[\text{grad}(e\cdot\omega)] = \min;\ \lim[\text{grad}(m\cdot e\cdot\omega^2)] = \min, \quad (5)$$

где e – эксцентриситет оси вращения; ω – угловая скорость рабочего вала; m – масса.

Амплитуда вибрации в работающих механических системах зависит от характера действующих сил и свойств упругой системы. Наиболее интенсивно изменяются параметры вибрации в переходных процессах разгона и торможения базовых механизмов рабочих машин, например, в момент врезания и выхода режущего инструмента из зоны резания.

С момента пуска одного из приводов рабочей машины ее состояние возможно описать дифференциальными уравнениями второго порядка. Процесс вибрации упругой системы рабочей машины мгновенно зарождается при первом же движении привода механизма машины и распространяется по принципу цепной реакции. В качестве оценочного критерия дивергенции вибрационного процесса выбрана функция приведенной скорости упругой системы ($e\cdot\omega$).

Упругая система рабочей машины вносит свой вклад в формирование вибрации вследствие вариации жесткости, радиального биения, допусков соосности и перпендикулярности, частотных характеристик, скорости движения, контурных углов резания, термодинамики процесса.

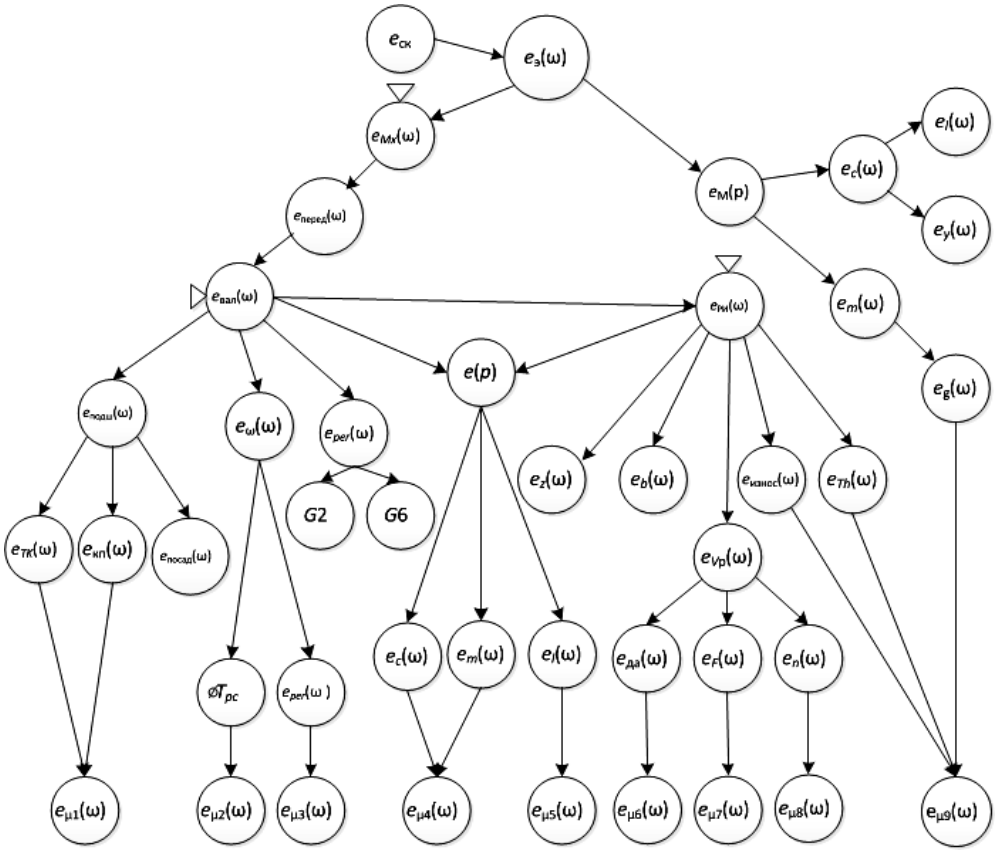


Рис. 3. Характер развития цепной реакции при распространении вибрационного процесса в конструкции рабочей машины

Исследование механизма генерирования вибрации и цепной реакции ее распространения целесообразно выполнять при стендовых испытаниях рабочей машины.

Стендовая обкатка первого рода перед контрольными испытаниями проводится после изготовления изделия для проверки его работоспособности, а также приработки контактных поверхностей. Операция выполняется по специальному регламенту и тестовым программам, позволяющим уточнить механизм генерирования вибрации, цепную реакцию ее распространения. Обкатка второго рода производится в начальный период эксплуатации технологической машины после монтажа в цехе в условиях производства. Приемосдаточные испытания (контрольно-выборочные испытания) выполняются по программе и методике испытаний, где проверяется геометрическая и технологическая точности и анализируется параметрическая точность с установлением фактических величин соответствия ужесточенному уровню значений параметров проверки. В ходе проверки окончательно устанавливается класс точности рабочих машин.

Скорость распространения продольных колебаний в конструкции рабочей машины можно оценить по функции [1]:

$$v_{\text{пр}} = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}\,; \quad \lambda = E\delta/[(1-2\delta)(1+\delta)]\,;$$
$$\mu = E/2(1+\delta), \qquad (6)$$

где λ, μ – параметры Ламе; ρ – плотность материала; δ – коэффициент Пуассона.

Скорость распространения поперечных колебаний, соответственно, аппроксимируется функцией вида [1]:

$$v_n = \sqrt{\mu/\rho}. \qquad (7)$$

Раскрытие механизма возникновения вибрации на основе математических методов, фундаментальных начал механики Лагранжа и генерирования вибрации в рабочей машине по принципу цепной реакции позволяет создавать управляющие алгоритмы стабилизации режимных параметров технологических процессов.

Частная математическая модель механизма генерирования вибрации в рабочей машине записана в виде функции пиковой виброскорости [7]:

$$V_{sp} = \frac{n \cdot d_i \cdot z}{60 \cdot (d_e - d_i)} \cdot \left[[\pi \cdot \{[\sum_{rt=1}^{N} \int_0^{IT} dx/(k_r \cdot x + k_l)]/N + \right.$$
$$\left. + [\sum_{rb=1}^{M} \int_0^{it} dy/(k_l \cdot y + k_r)]/M\}/2] + \frac{1}{n_k - 1} \cdot (\sum_{i=1}^{n_k} x_i) \right], \qquad (8)$$

где V_{sp} – виброскорость в локальной энергонасыщенной интегральной точке механизма главного движения; d_i, z – параметры опор качения; n – частота вращения; it, IT – допуски на размеры контактных пар; x_i – составляющие компоненты виброскорости, которые определяются по частным функциям, описывающим допуски в подвижных контактных парах, кинематические связи, эксцентриситет и соосность, динамические прогибы в рабочих валах.

При анализе механизма генерирования вибрации особое внимание следует обращать на технологии разработки и производства машин. Исходными документами для решения поставленной проблемной задачи – раскрытия механизма возникновения вибрации – являются: технические условия на изделия, отечественные и зарубежные технические регламенты, патенты и ноу-хау, рабочие чертежи деталей и сборок, типовые технологические процессы.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Механизм генерирования и распространения вибрации в технологических машинах, построенный на принципах теории цепной реакции, наиболее точно отвечает физическому процессу действия вибрации на точность формирования контура деталей. Генерация вибрации в рабочей машине начинается с момента пуска двигателя привода первого механизма и распространяется по принципу цепной реакции со скоростью не выше $6{,}7 \cdot 10^3$ м/с.

2. Раскрытие механизма возникновения вибрации на основе математических методов описания технологического процесса, построенных на фундаментальных началах Ньютона и Лагранжа, генерирования и распространения вибрации в рабочей машине по принципу цепной реакции позволяет создать новые управляющие алгоритмы стабилизации режимных параметров вибрации технологических процессов.

3. Созданная на основе феноменологической модели исследования вибрации рабочей машины, технологическая модель генерирования вибрации в технологической машине раскрывает значимость параметров геометрической, технологической и параметрической составляющих показателей точности и их влияние на динамику процесса резания материалов.

4. Микроколебания в материалах механизмов на уровне атомно-молекулярного строения не оказывают существенного влияния на вибрацию станка. Однако изменение постоянной времени демпфирования и динамической вязкости материала в процессе работы станка подтверждает степень влияния металлических и химических связей между атомами, ионами и коллективизированными электронами, свидетельствующего о непостоянстве сил сопротивления, входящих в дифференциальное уравнение колебаний материальной точки.

5. Величина эксцентриситета оси вращения с осью, проходящей через центры вращающихся масс, большей частью формируется конструктивными решениями и, как следствие, технологическим процессом изготовления деталей, включая операцию динамической балансировки роторов.

Библиографические ссылки

1. Никифоров А. Н. Проблемы колебаний и динамической устойчивости быстровращающихся роторов // Вестник научно-технического развития. 2010. № 3. С. 31–53.

2. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М. : Наука, 1984. Т. 2.

3. Кузьмин Б. А., Абраменко Ю. Е., Кудрявцев В. А. Технология металлов и конструкционные материалы. М. : Машиностроение, 1989.

4. Айзерман М. А. Классическая механика. М. : Наука, 1980.

5. Способ диагностики и оценки виброактивности станков, работающих с лезвийным инструментом : пат. 2332652 С1 Рос. Федерация : МПК G01M 7/00 / Филиппов Ю. А., Ручкин Л. В., Раменская Е. В. Опубл. 27.08.2008, Бюл. № 24.

6. Углов А. Л., Ерофеев В. И., Смирнов А. Н. Акустический контроль оборудования при изготовлении и эксплуатации. М. : Наука, 2009.

7. Раменская Е. В. Анализ виброактивности металлорежущих станков // Вестник СибГАУ. Вып. 6. (13). 2006. С. 86–89.

E. V. Ramenskaya, Yu. A. Philippov, N. A. Amelchenko

MECHANISM OF GENERATING AND DISTRIBUTION OF VIBRATION IN TECHNOLOGICAL MACHINES

New results of the researches in the sphere of mechanics of technological processes of rocket and space products technology are presented, the mechanism of vibration appearance, on the basis of formation and distribution of chain reaction of oscillation process in technological machines, is considered.

Keywords: mechanism, vibration, technological process, modeling.

© Раменская Е. В., Филиппов Ю. А., Амельченко Н. А., 2012

УДК 583.975 + 621.318.1

В. А. Семячков, А. Н. Рыбакова, В. С. Жигалов, В. Г. Мягков

ТВЕРДОФАЗНЫЕ РЕАКЦИИ В ПЛЕНОЧНЫХ ДВУСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Исследованы фазовые превращения и магнитные свойства пленочных слоистых структур Fe/Pd и CoCr при термообработке. Показано, что в двухслойных пленках Fe/Pd, выращенных на подложках из MgO, в зависимости от толщинных соотношений железа и палладия и от температуры отжига в системе формируются две упорядоченные фазы – $L1_0$-FePd(001) и $L1_2$-$FePd_3$(001). Исследования магнитных свойств фаз показали, что $L1_0$-фаза является высокоанизотропной, обладает перпендикулярной анизотропией и большой величиной коэрцитивной силы, а $L1_2$-фаза – магнитомягкая и имеет высокие значения намагниченности насыщения.

Показано, что в пленках системы CoCr появляется перпендикулярная анизотропия, которая вызвана уменьшением значения анизотропии формы и фактом текстурированности и расположения пленки гексагональной с-осью нормально плоскости пленки. Твердофазный синтез в системе CoCr приводит к образованию фазы твердого раствора хрома на базе гексагонального кобальта ε-Co(Cr). Полученные результаты имеют как научное, так и прикладное значение.

Ключевые слова: твердофазный синтез, реакция, пленки, переходные металлы.

Тонкие пленки являются материалами, с помощью которых можно найти решение многих задач современной наноэлектроники. Структурные и магнитные свойства тонких пленок FePd, упорядоченных по типу $L1_0$, исследуются в связи с их потенциальной пригодностью для высокоплотной магнитной записи информации и создания специальных магнитожестких сред [1; 2]. Упорядоченные $FePd_3$-пленки в настоящее время изучены недостаточно и поэтому их исследование представляет научный и практический интерес. Система Co/Cr – это перспективный материал для использования в качестве сред с возможностью перпендикулярной записи информации и также еще не до конца изучена [3–5].

Получение этих пленочных систем методом твердофазного синтеза (ТФС) еще не производилось. В связи с этим в данной работе обращалось внимание на возможные механизмы и процессы, способствующие синтезу фаз в исследуемых системах, а также изучались магнитные и анизотропные свойства этих пленок [6; 7].

Идентификация фаз проводилась с использованием рентгеноструктурного анализа. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование твердофазных межслойных химических взаимодействий для синтеза пленочных образцов с меньшими энергетическими и экономическими затратами [8].

Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2011)», проект № 2.1.1/9193.

Образцы и методика эксперимента. Для получения образцов был использован новый способ изготовления пленок – твердофазный синтез. В качестве исходных образцов были изготовлены две серии пленок Fe(001)/Pd(001) на подложках из монокристаллического MgO(001) с атомным соотношением железа и палладия 1/1 и 1/3, а также образцы Co/Cr с атомным соотношением кобальта и хрома 1/1, 1/3 и 1/4 на подложках из кварцевого стекла. Двухслойные структуры изготовлялись методом электронной бомбардировки тигельных испарителей с кольцевым катодом, в вакууме 10^{-6} торр на установке вакуумного напыления УВН-2М-1. Для определения толщин слоев был использован рентгенофлуоресцентный анализ. В дальнейшем исходные образцы подвергались термическому отжигу в диапазоне от 300 до 700 °С с шагом в 50° и выдержкой при каждой температуре в течение 30 мин. В результате термообработки между слоями формировались последовательности фаз [9; 10].

После каждой ступени отжига и охлаждения до комнатной температуры в образцах измерялись первая константа магнитной анизотропии и намагниченность насыщения методом крутящих моментов с максимальным магнитным полем 18 кЭ, а также исследовались структурные и фазовые превращения. Идентификация образовавшихся фаз была проведена на дифрактометре ДРОН-4-07 (CuK_α-излучение). Рентгенографические исследования эпитаксиальной ориентации фаз проводились на дифрактометре PANalytical X'Pert Pro с матричным твердотельным детектором PIXel. В пленках CoCr наряду с намагниченностью насыщения определялись ориентации осей легкого намагничивания относительно плоскости пленки.

Результаты исследования пленок системы Fe/Pd. Получена зависимость первой константы анизотропии (K_1) от температуры отжига для пленок с атомным соотношением Fe/Pd, равным 1/1 и 1/3 (рис. 1). Видно, что в образцах, при отжиге вплоть до 400 °С, практически отсутствуют изменения анизотропных свойств по отношению к исходным образцам. Однако отжиги при $T > 400$ °С приводят к увеличению константы анизотропии в пленках с атомным соотношением 1/1 примерно на порядок и к частичному исчезновению анизотропии в пленках с соотношением 1/3. Такая модификация анизотропных свойств должна приводить к различным значениям коэрцитивности (H_C). Как показали дополнительные исследования магнитостатических свойств, коэрцитивная сила в первом случае выросла и составляет ~1 кЭ, в другом случае пленки становятся магнитомягкими и H_C составляет менее 1 Э (рис. 2).

Получены зависимости намагниченности насыщения (M_S) для тех же образцов от температуры отжига (T) (рис. 3), из которых видно, что для обеих структур относительная намагниченность насыщения увеличивается по мере увеличения T. Однако для пленки с атомным соотношением 1/3 это увеличение составило более чем 60 %. Легко предположить, что рост значений M_S связан с приростом магнитного момента за счет магнитной поляризации атомов палладия. При этом большее содержание палладия в образце приводит к большему увеличению намагниченности.

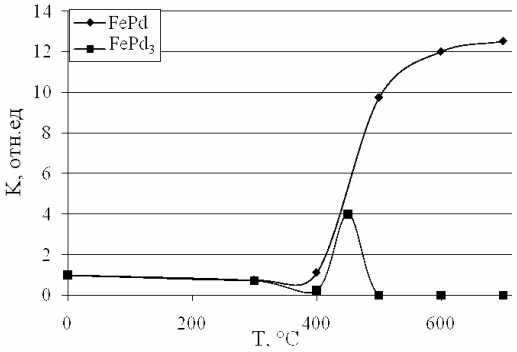


Рис. 1. Зависимость константы анизотропии от температуры отжига для образов FePd и $FePd_3$

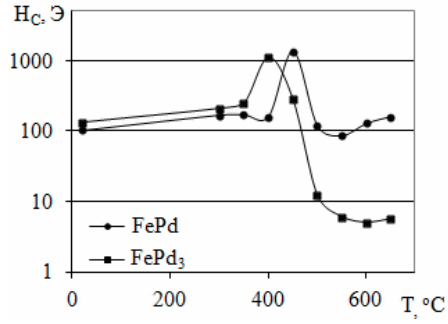


Рис. 2. Зависимость коэрцитивной силы от температуры отжига для образцов FePd и $FePd_3$

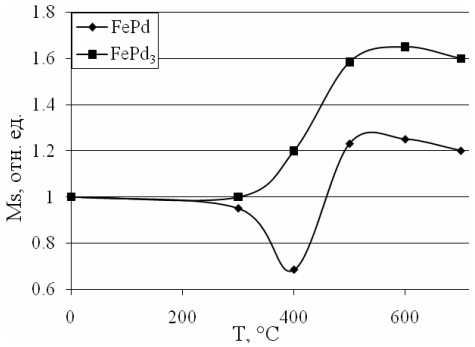


Рис. 3. Зависимость относительной намагниченности насыщения от температуры отжига для образцов FePd и $FePd_3$

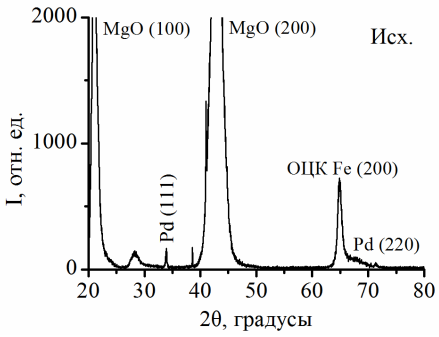


Рис. 4. Рентгенограмма исходного образца Fe/Pd

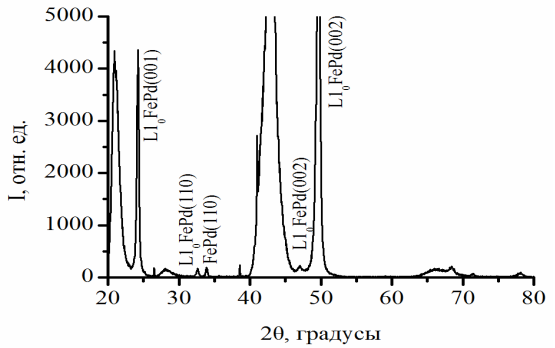


Рис. 5. Рентгенограмма с образца FePd, отожженного при температуре 600 °С

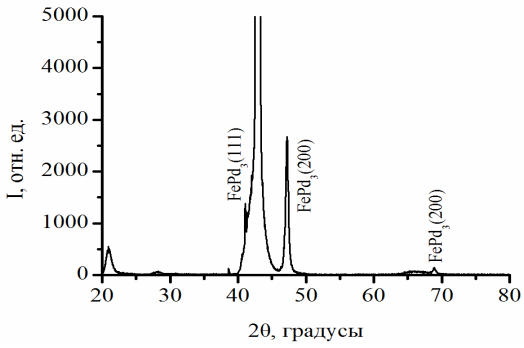


Рис. 6. Рентгенограмма образца $FePd_3$, отожженного при температуре 600 °С

Изменения магнитных и анизотропных свойств связаны с фазовыми превращениями в двухслойных структурах Fe/Pd под воздействием отжигов. Анализ рентгеновских измерений показал, что слои Fe и Pd в исходном состоянии растут на подложках MgO эпитаксиально (рис. 4). В процессе отжига на базе этих эпитаксиальных слоев формируются основные фазы $L1_0$-FePd для пленки с соотношением атомов 1/1 при T = 400 °С (рис. 5) и $L1_2$-$FePd_3$ для пленки с соотношением Fe/Pd = 1/3 при T = 550 °С (рис. 6). Первая фаза имеет тетрагональное искажение решетки, что и явилось причиной появления высокой анизотропии, вторая фаза имеет простую кубическую решетку без существенных анизотропных свойств. Следует отметить, что фазы формируются с высокой степенью упорядочения, о чем свидетельствует появление запрещенной плоскости (001).

Результаты исследования пленок системы Co/Cr. Получены графики зависимостей намагниченности насыщения от температуры отжига в образцах Co/Cr разного состава, из которых были определены температуры инициирования начала протекания твердофазных реакций и особенности процесса синтеза новых фаз (рис. 7).

Как видно, значения намагниченности меняются с повышением температуры отжига, при этом в зависимости от атомного соотношения кобальта и хрома в системе ход указанных зависимостей существенно разный. До T = 390 °С величина намагниченности соответствует исходным значениям, а при T > 400 °С наблюдается резкое уменьшение M_S, что несомненно связано с началом твердофазной межслойной реакции. Следует отметить, что спад намагниченности тем больше, чем больше содержание хрома в системе. Уменьшение значения M_S с необходимостью приводит к уменьшению величины поля плоскостной анизотропии формы ($H_{\rightarrow} = 4\pi M_S$). Анизотропия формы способствует формированию оси легкого намагничивания (ОЛН) в плоскости пленки.

Представлены определенные с помощью анизометра направления легкой оси в пленках Co/Cr с разным концентрационным составом и отожженных при T ~ 500 °С (рис. 8). Как видно, при содержании хрома 25 ат. % ось легкого намагничивания лежит в плоскости пленки. Увеличение содержания хрома до 33 ат. % способствует выходу вектора намагниченности из плоскости пленки на угол примерно в 45°. Содержание хрома в системе, равное 50 ат. %, способствует появлению перпендикулярной анизотропии, при этом угол выхода намагниченности близок к 90°. Для появления перпендикулярной магнитной анизотропии в пленочных образцах необходимо, чтобы механизмы, ответственные за перпендикулярную анизотропию, преобладали над механизмами, определяющими плоскостную анизотропию ($H_{\downarrow} > H_{\rightarrow}$). С уменьшением намагниченности плоскостная анизотропия ($H_{\rightarrow}$) уменьшается, а для определения механизмов, ответственных за появление $H_{\downarrow}$, были проведены рентгеноструктурные исследования [11].

Рентгеноструктурные исследования были проведены на пленках с содержанием хрома 50 ат. % в зависимости от температуры отжига (рис. 9). Пленки с таким содержанием реагентов, отожженные при температуре более 450 °С, имели текстурированную структуру с преобладающим рефлексом ε-Co(Cr)(002), который стал причиной появления перпендикулярной анизотропии.

Анализ рентгеновских спектров позволяет обратить внимание на две особенности.

1. Температурная обработка приводит к формированию фазы, обладающей гексагональной плотной упаковкой, подобной кристаллографии элементарного кобальта. В таблице приведены сравнительные значения кристаллографических рефлексов ε-Co и вновь синтезированной фазы Co–Cr.

2. В процессе твердофазного синтеза фаза Co(Cr) растет с высокой степенью текстурированности. Основным становится рефлекс (002), который и определяет кристаллографическую *c*-ось гексагональной упаковки. С увеличением температуры отжига степень текстурированности возрастает [11].

Таким образом, удалось установить последовательность фазовых превращений в зависимости от температуры термообработки двухслойных тонкопленочных структур Fe/Pd/MgO(001) с атомным соотношением веществ 1/1 и 1/3:

$$\text{Fe/Pd(1/1)} \rightarrow (T = 400\ ^{\circ}\text{C}) \rightarrow L1_0\text{-FePd}$$

$$\text{Fe/Pd(1/3)} \rightarrow (T = 400\ ^{\circ}\text{C}) \rightarrow L1_0\text{-FePd} \rightarrow$$
$$\rightarrow (T = 550\ ^{\circ}\text{C}) \rightarrow L1_2\text{-}FePd_3$$

Соответствие параметров решетки ε-Co и ε-Co(Cr)

Фазы	*d*(hkl)	*d*(hkl)	*d*(hkl)	*d*(hkl)
ε-Co	2,18 (100)	2,06 (002)	1,92 (101)	1,49 (102)
ε-Co(Cr)	2,16 (100)	2,02 (002)	1,91 (101)	1,44 (102)

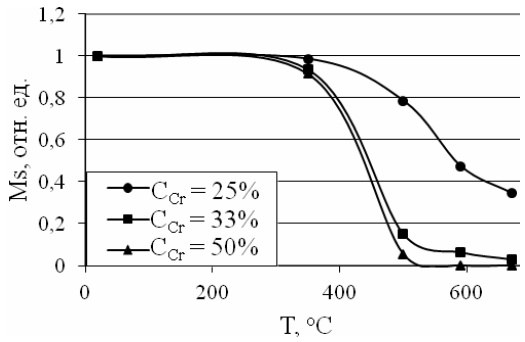


Рис. 7. Влияние температуры отжига *T* на намагниченность насыщения M_S

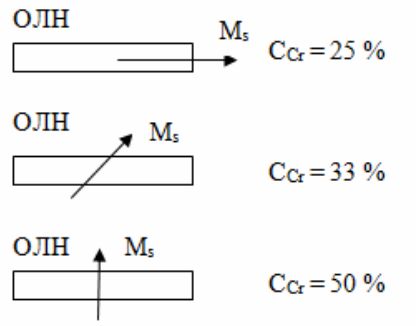


Рис. 8. Зависимость изменения направления анизотропии от концентрации хрома

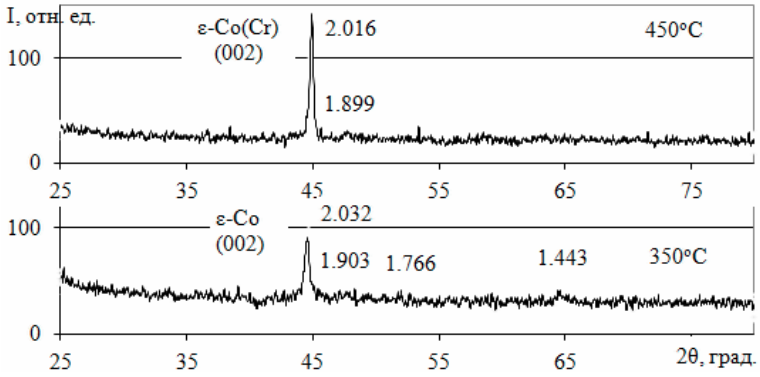


Рис. 9. Рентгеновские спектры в пленке Co(Cr) состава 50 ат. % в зависимости от температуры отжига

Термообработка образцов Fe/Pd при температуре более 400 °C приводит к увеличению константы анизотропии в пленках с атомным соотношением 1/1 практически в 12 раз и к полному исчезновению анизотропии в пленках с атомным соотношением 1/3. Использование высокоанизотропных пленок FePd в будущем позволит увеличить плотность записи информации на пластинах для магнитной записи данных.

Измерения намагниченности насыщения (M_S) показали, что при температуре отжига 600 °C у пленок с атомным соотношением 1/1 зафиксирован рост намагниченности на атом железа примерно на 20 %. Для пленки с атомным соотношением Fe/Pd, равным 1/3, увеличение M_S составляет 60 % в сравнении с намагниченностью исходного образца.

Для пленок CoCr различных составов установлено следующее.

1. Температура инициирования твердофазных реакций ~400 °C.

2. Основной синтезированной фазой является твердый раствор хрома в ε-Co.

3. Синтезированные пленки ε-Co(Cr) состава 50 ат. % хрома обладают перпендикулярной магнитной анизотропией.

4. Причиной появления перпендикулярной анизотропии является уменьшение анизотропии формы (плоскостной анизотропии) и текстурированный рост пленки гексагональной *c*-осью нормально к плоскости пленки.

Полученные результаты представляют большой научный и прикладной интерес и нуждаются в дальнейшем исследовании.

Библиографические ссылки

1. Твердофазный синтез эпитаксиальных $L1_0$-FePd(001) тонких пленок: структурные превращения и магнитная анизотропия / В. Г. Мягков, В. С. Жигалов, Л. Е. Быкова и др. Письма в ЖЭТФ. 2010. Т. 91. Вып. 9. С. 399–403.

2. Piramanayagam S. N. Perpendicular recording media for hard disk drives // J. of App. Physics. 2007. Vol. 102. № 1. P. 30.

3. Magnetization process in FePd thin films / O. Klein [et al.] // J. of App. Physics. 2001. Vol. 89. № 11. P. 6781–6783.

4. Казаков В. Г. Тонкие магнитные пленки // Соросовский журн. 1997. № 1. С.107–114.

5. Методы получения магнитных слоев и исследования их физических свойств : учеб. пособие /

В. С. Жигалов, С. Н. Варнаков, К. П. Полякова и др. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008.

6. Мягков В. Г., Жигалов В. С. Твердофазные реакции и фазовые превращения в слоистых наноструктурах. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2011.

7. Жигалов В. С., Мацынин А. А. Твердофазный синтез магнитных пленок // Решетневские чтения : материалы XII Междунар. науч.-практич. конф. Красноярск, 2008. С. 204–205.

8. Быкова Л. Е. Твердофазный синтез в двухслойных тонких металлических пленках, вызванный мартенситными превращениями в продуктах реакции : автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук. Красноярск, 2004. С. 23.

9. Особенности твердофазного синтеза парамагнитной фазы и мартенситных превращений в тонких Ni/Fe(001)MgO(001)-пленках / В. Г. Мягков, В. С. Жигалов, Л. Е. Быкова и др. // Докл. РАН. 2006. Т. 410. № 5. С. 1–4.

10. Твердофазный синтез эпитаксиальных Co_7Sm_2(110) нанопленок: структурные и магнитные свойства / В. С. Жигалов, В. Г. Мягков, Л. Е. Быкова и др. // Письма в ЖЭТФ. 2008. Вып. 6. С. 445–449.

11. Жигалов В. С., Мацынин А. А. Магнитные и фазовые превращения в пленках системы CoCr // Актуал. пробл. авиации и космонавтики : материалы науч.-практич. конф. студентов и молодых ученых. Красноярск, 2008.

V. A. Semyachkov, A. N. Rybakova, V. S. Zhigalov, V. G. Myagkov

SOLIDPHASE REACTIONS IN FILM TWO-LAYERS STRUCTURES OF TRANSION METALS

In this work the authors investigate phase transformations and magnetic properties of film layer-type structures Fe/Pd and CoCr, under heat treatment. The authors show that according to thickness ratio rating of iron vs palladium, generated on substrates from MgO, and according to annealing temperature, two ordered phases are formed in the system – $L1_0$-FePd(001) and $L1_2$-$FePd_3$(001). Examinations of magnetic properties of the phases revealed that the $L1_0$-phase is high anisotropic and possesses perpendicular anisotropy, and the $L1_2$-phase is soft magnetic and has high values of saturation magnetization.

Along with it the authors show that in CoCr system films there appears a perpendicular anisotropy which is caused by reduction of value of anisotropy form and the fact of texture and film arrangements of hexagonal c-axis of normally to plane of the film. Solid phase synthesis in the system Co-Cr leads to formation of a phase of solid solution of chrome on base of hexagonal cobalt ε-Co(Cr). The obtained results have a scientific, as well as applied value.

Keywords: solid phase synthesis, reaction, film, transition metal.

© Семячков В. А., Рыбакова А. Н., Жигалов В. С., Мягков В. Г., 2012

УДК 536.248.2 ; 532.574.2

А. В. Серяков, А. В. Конькин, В. К. Белоусов

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОГО ПАРОВОГО СОПЛА В ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНОГО ДИАПАЗОНА

Представлена часть комплексного расчетно-экспериментального исследования интенсификации теплопередающих характеристик тепловых труб среднего температурного диапазона.

При торцовом (аксиальном) направлении теплового потока на входе в тепловую трубу, характерном для коротких тепловых труб, появляется возможность использования струйного парового сопла, аналогичного соплу Лаваля и окруженного слоем капиллярно-пористой вставки вдоль всей длины тепловой трубы, что увеличивает скорость потока пара.

Ключевые слова: тепловые трубы среднего температурного диапазона, капиллярно-пористая вставка, капиллярные инжекторы пара, сопло Лаваля.

Проблема интенсификации теплопередающих характеристик среднетемпературных тепловых труб (ТТ), применяемых для охлаждения теплонагруженных элементов электронной техники, в том числе внутри космического аппарата, в настоящее время исключительно актуальна. Теплопередача и эксплуатационная эффективность ТТ с капиллярно-пористыми вставками определяется замкнутым циркуляционным движением теплоносителя, претерпевающим фазовый переход «жидкость–пар» с поглощением тепла в зоне испарения капиллярно-пористой вставки, перенос паровой фазы по конфузорно-диффузорному паровому каналу, фазовый переход «пар–жидкость» с выделением тепла в зоне конденсации, и возврат жидкости по капиллярно-пористой вставке в зону испарения ТТ.

Для оценки предельных теплопередающих способностей и выбора теплоносителя для тепловых труб

применяют параметр качества жидкостей, определяемый согласно выражению

$$\Psi = \frac{\rho \cdot r \cdot \sigma}{\mu},$$

где ψ – параметр качестватеплоносителей, Вт/см^2; ρ – плотность теплоносителей, кг/м^3; r – удельная теплота испарения, кДж/кг; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Получены температурные зависимости параметра качества ψ ряда теплоносителей, приемлемых для применения в тепловых трубах среднетемпературного диапазона (рис. 1).

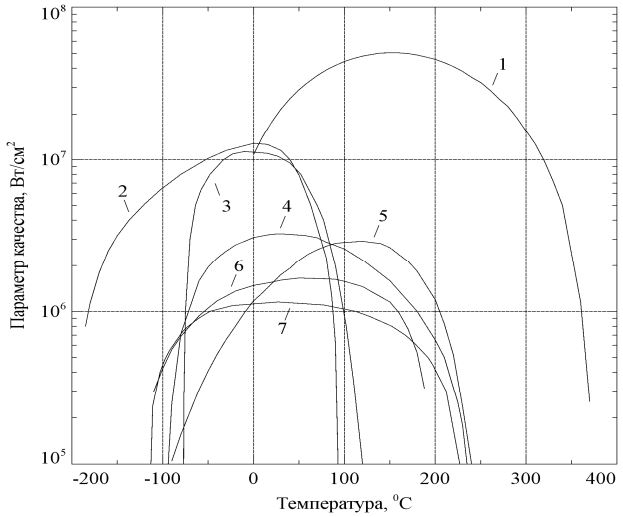


Рис. 1. Параметр качества жидких рабочих тел, ψ, Вт/см^2: *1* – вода H_2O; *2* – пропилен C_3H_6; *3* – аммиак NH_3; *4* – ацетон C_3H_6O; *5* – этиловый спирт C_2H_5OH; *6* – диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$; *7* – метиловый спирт CH_3OH

Расчет параметров ψ проводился по имеющимся в литературе теплофизическим данным, с использованием степенной интерполяции. Видно, что температурный диапазон применения теплоносителей узок и в основном не превышает 300 ºС.

В качестве основного теплоносителя выбран диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$, температура кипения T_B которого при атмосферном давлении равна 35,4 ºС, температура замерзания T_F = –116,2 ºС и критические параметры T_K = 193,4 ºС, P_K = 3,61 МПа.

Успешный опыт использования диэтилового эфира в качестве рабочего тела для камер Вильсона [1], с длительным нахождением жидкой фазы при температуре 140 ºС, показывает его термостойкость и возможность применения в качестве теплоносителя для тепловых труб.

При торцовом направлении теплового потока на входе в тепловую трубу, характерном для коротких ТТ, предпочтительным конструктивным решением является выполненный из металлического капиллярно-пористого материала плоский испаритель, плотно прилегающий к плоской нижней крышке и снабженный инжектирующими паровыми каналами.

Рассмотрим схему ТТ с плоским испарителем, конфузорно-диффузорным паровым каналом и турбулизатором (рис. 2) [2–6]. Длина тепловых труб 100 мм, диаметр 20 мм.

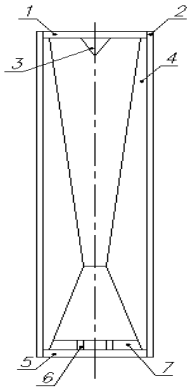


Рис. 2. Схема тепловой трубы:
1 – верхняя крышка; *2* – цилиндрическая обечайка ТТ; *3* – конический турбулизатор; *4* – капиллярно-пористая вставка; *5* – нижняя крышка; *6* – капиллярные инжектирующие каналы; *7* – нижняя плоская капиллярно-пористая вставка-испаритель

При небольших диаметрах тепловых труб, выполненных из нержавеющей стали, применение плоских крышек возможно из-за их умеренного теплового сопротивления, простоты и технологичности изготовления.

Перенос паровой фазы происходит по паровому каналу, расположенному вдоль центральной оси капиллярно-пористой вставки, в свою очередь плотно установленной и механически зафиксированной в тонкостенном цилиндрическом корпусе ТТ с верхней и нижней крышками.

Центральное расположение парового канала, выполненного в виде газодинамического конфузорно-диффузорного сопла, аналогичного соплу Лаваля, окруженного слоем капиллярно-пористой вставки вдоль всей длины ТТ, позволяет существенно уменьшить теплопотери.

Без слоя капиллярно-пористой вставки паровое сопло заметно охлаждается внешним теплообменом, вследствие чего пар в пограничном слое у стенок сопла становится пересыщенным. В результате нарушается нормальный режим истечения паровой струи: в потоке в участках диффузора, близких к критическому сечению, преждевременно появляется большое количество микрокапелек конденсата теплоносителя. При этом происходит значимое увеличение расходимости струи пара и ее замыкание на стенках капиллярно-пористой вставки, что снижает предельные параметры теплопередачи ТТ.

Конденсационные скачки, образующиеся в расширяющейся части сопла, сопровождаются тепловыделением и под воздействием двух факторов (теплового и геометрического) течение паровой струи может потерять устойчивость.

Переменное сечение капиллярно-пористой вставки с максимальным значением толщины вблизи критиче-

ского сечения сопла и уменьшающейся толщиной в области испарения и конденсации защищает паровой поток от переохлаждения таким образом, что конденсация начинает происходить лишь вблизи лобовой точки турбулизатора и далее на внутренней поверхности верхней крышки ТТ, при температуре торможения паровой струи, превышающей температуру испарения.

Перегрев ΔT потока пара на выходе из сопла, обусловленный превышением температуры торможения над температурой кипения рабочей жидкости в испарителе ТТ, учитывают с помощью введения эффективного значения теплоты конденсации [7; 8] по формуле

$$r_{\text{eff}} = r + C_P^{//} \cdot \Delta T,$$

где r_{eff} – эффективное значение теплоты конденсации, Дж/кг; $C_P^{//}$ – теплоемкость перегретого пара, Дж/кг·К; ΔT – разность между температурой, перегретого пара и его температурой насыщения при данном давлении, К. Величина перегрева ΔT при высоких тепловых нагрузках на тепловую трубу достигает 50 К. Степень сжатия газодинамического конфузорно-диффузорного сопла выбрана такой же, как у сопла Лаваля.

Для интенсификации парообразования в зоне испарения при малых тепловых нагрузках применяют несколько инжектирующих паровыводных каналов, пронизывающих нижнюю плоскую капиллярно-пористую вставку-испаритель, плотно прилегающую к плоской нижней крышке ТТ. Диаметр инжектирующих каналов достигает 1 мм, и пониженное капиллярное давление приводит к снижению температуры кипения и парообразования теплоносителя в этих каналах, что оказалось очень существенным при малых тепловых нагрузках ТТ и соответственно при небольших начальных скоростях течения пара над испарителем.

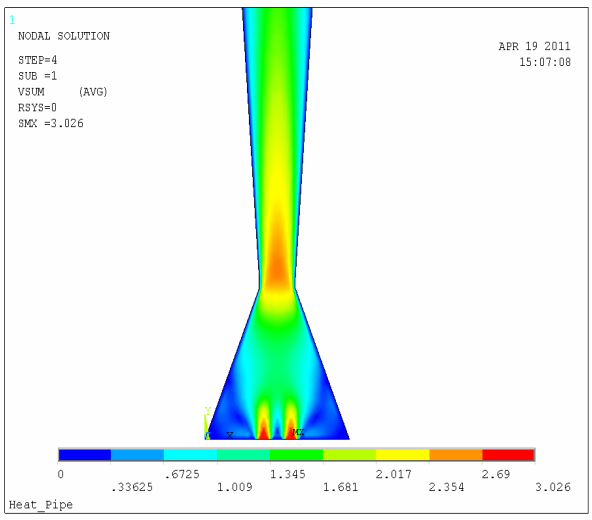


Рис. 3. Результаты расчетов скорости течения струй пара диэтилового эфира, см/с, над инжектирующими паровыми каналами в испарительной части ТТ при малой тепловой нагрузке

Вычисление скорости потока пара было проведено с помощью программы ANSYS. Решали уравнения Навье–Стокса и теплопроводности с граничными условиями 3-го рода, т. е. с фиксированными значениями температуры источника и стока тепла ТТ. Модель исследовали в виде продольного сечения вдоль осевых линий двух инжекторных каналов, что сохранило все особенности вихревой нестационарности при условии непрерывного замкнутого циркуляционного движения теплоносителя в жидкой и паровой фазах.

Экспериментальное определение скорости потока пара диэтилового эфира $C_4H_{10}O$ было проведено в критическом сечении сопла с использованием проволочного термоанемометра с нагретой нитью [9; 10]. Перпендикулярно продольной оси ТТ на высоте критического сечения сопла к внешней поверхности обечайки лазерной сваркой приварен отрезок трубки-держателя из нержавеющей стали, диаметром 6 мм и длиной 15 мм. Резьбовой хвостовик трубки-держателя на длине 5 мм содержит 4 продольных паза, шириной 0,3 мм каждый, сдвинутые друг относительно друга на 90º, которые вместе с внешней накидной гайкой со вставкой с коническим каналом образуют фиксатор датчика термоанемометра. Датчик термоанемометра представляет собой отрезок тонкостенной капиллярной трубки из ковара, диаметром 2 мм и толщиной стенок 0,05 мм, внутрь которой введены остеклованные коваровые токовводы диаметром 0,3 мм. Герметизацию внутреннего пространства капиллярной трубки и механическую фиксацию токовводов проводят с помощью стеклопорошка С-48-5, которым заполняют пространство внутри трубки с одной стороны при постоянном виброуплотнении, и в специальной оправке спекают при температуре 1 000 ± 20 ºС. Образующаяся внутренняя капля стекла с одной стороны трубки на глубину 5…6 мм надежно герметизирует токовводы, а с противоположной стороны трубки вставляют тефлоновый фиксатор с двумя отверстиями для токовводов.

С помощью миниатюрной сварочной машины СМС-6 наваривают чувствительный элемент – кусочек проволочки – на выступающие из капли стекла токовводы.

Диаметр проволочки золото–железо 5 мкм, удельное электрическое сопротивление $2{,}8 \cdot 10^{-8}$ Ω·м, температурный коэффициент сопротивления $3{,}9 \cdot 10^{-3}$ 1/К.

Внешнюю поверхность тонкостенной капиллярной трубки датчика термоанемометра покрывают тонким слоем силиконового герметика и по скользящей посадке по внутреннему каналу трубки-держателя вводят в паровой канал ТТ на заданную глубину таким образом, чтобы проволочка располагалась в середине критического сечения сопла с ориентацией, перпендикулярной продольной оси ТТ. После вулканизации герметика и завертывания внешней накидной гайки на хвостовике трубки-держателя ТТ готова для дегазации капиллярно-пористой вставки, заполнения теплоносителем и общей герметизации.

Калибровку термоанемометра проводили в специальных опытах на расходомерной шайбе и эталонном

критическом сопле, устанавливаемых в ориентированном вертикально вверх рабочем участке сифонной тепловой трубы-гипсометра [2].

Перепад давления на расходомерной шайбе измеряли с помощью преобразователя разности давлений «Сапфир-22ДД» и микроманометра ММН-240, в качестве теплоносителя сифонной ТТ использовали диэтиловый эфир. Мембранный блок преобразователя «Сапфир-22ДД» и подводящие линии в процессе всех измерений поддерживали при температуре 35 ºС.

Принцип действия термоанемометра внутри работающей тепловой трубы основан на конвективной потере тепла нагретой проволочкой датчика в потоке насыщенного пара. Электрическая мощность P_0, выделяемая проволочкой термоанемометра при протекании через него тока подогрева I_0, теряется конвекцией P_{conv} , кондукцией P_{cond} и излучением, причем вкладом излучения из-за его малости при данных температурах и давлениях пренебрегают:

$$P_0 = P_{\text{conv}} + P_{\text{cond}}.$$

Кондуктивный вклад в теплопотери по токовводам, называемым балками каркаса термоанемометра, оценивают следующим образом [7; 8; 11]:

$$P_{\text{cond}} = 2 \cdot \lambda_C \cdot \Pi_C \cdot \omega_C \cdot (T_W - T_{\text{St}}) \cdot \frac{\text{sh}(\omega_C \cdot L)}{\text{ch}(\omega_C \cdot L)},$$

где λ_C – коэффициент теплопроводности каркаса, Вт/м ·К; Π_C – суммарный периметр сечения каркаса, м; T_W – температура проволочки термоанемометра, К; T_{St} – температура потока пара, К; L – длина каркаса, м; параметр ω_C вычисляют из выражения

$$\omega_C = \sqrt{\frac{\alpha_C \cdot \Pi_C}{\lambda_C \cdot S_C}}$$

где α_C – коэффициент теплоотдачи каркаса конвекцией, Вт/м^2 ·К; S_C – площадь сечения каркаса, м^2.

Коэффициент теплоотдачи каркаса α_C оценивают стандартным образом [11; 12]:

$$\text{Nu}_C = C \cdot \text{Pr}^n \cdot \text{Re}_C^m,$$

где $\text{Nu}_C = \alpha_C \cdot \text{D}_C / \lambda_{\text{St}}$ – число Нуссельта балок каркаса; $\text{Re}_C = \rho_{\text{St}} \cdot \text{u} \cdot \text{D}_C / \mu_{\text{St}}$ – число Рейнольдса балок каркаса; $\text{Pr} = \mu_{\text{St}} \cdot C_P / \lambda_{\text{St}}$ – число Прандтля; D_C – диаметр балок каркаса, м; ρ_{St} – плотность пара, кг/м^3; λ_{St} – коэффициент теплопроводности пара, Вт/м·К; C_P – теплоемкость пара, Дж/кг·К; C, n, m – константы, зависящие от формы сечения балок и диапазона чисел Рейнольдса Re [11; 12]; u – скорость течения потока пара, м/с; μ_{St} – коэффициент динамической вязкости пара, Па·с.

Кондуктивный вклад в теплопотери выделяемой мощности P_{cond} в данной работе достигал 18,5 %.

При стационарных условиях в потоке пара устанавливается состояние теплового равновесия для проволочки датчика: тепловая мощность $P_0 - P_{\text{cond}}$, выделившаяся при прохождении электрического тока по проволочке, отводится потоком пара. Вид функциональной зависимости между напряжением на проволочке датчика и средней скоростью потока пара выводится из рассмотрения процесса теплообмена с окружающей средой проволочки, расположенной перпендикулярно потоку. Этот процесс описывают эмпирическим соотношением

$$\text{Nu}_W = 0,42 \cdot \text{Pr}^{0,2} + 0,57 \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot \text{Re}_W^{0,5}, \qquad (1)$$

где $\text{Nu}_W = \alpha_W \cdot d_W / \lambda_{\text{St}}$ – число Нуссельта проволочки датчика; $\text{Re}_W = \rho_{\text{St}} \cdot \text{u} \cdot d_W / \mu_{\text{St}}$ – число Рейнольдса проволочки датчика; d_W – диаметр проволочки датчика, м; α_W – коэффициент теплоотдачи проволочки, Вт/м^2 ·К.

Для двухатомных газов и паров выражение (1) справедливо в диапазоне чисел Рейнольдса

$$10^{-2} \le \text{Re} < 10^4.$$

Уравнение теплового баланса проволочки термоанемометра имеет вид

$$\left(P_0 - P_{\text{cond}}\right) = \pi \cdot \ell \cdot \lambda_{\text{St}} \cdot \left(T_W - T_{\text{St}}\right) \times$$
$$\times \left(0,42 \cdot \text{Pr}^{0,2} + 0,57 \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot \text{Re}_W^{0,5}\right),$$

где ℓ – длина проволочки, м.

Термоанемометр измерял среднюю во времени продольную компоненту скорости u свободного потока пара с коэффициентом перегрева нити 0,8, собственно калибровка была проведена с использованием модифицированного уравнения Кинга [9; 10]:

$$u = k_1 \cdot \left(E^2 - E_0^2\right)^{1/j} + k_2 \cdot \left(E - E_0\right)^{1/2},$$

где E, E_0 – выходные напряжения термоанемометра при наличии скорости потока пара и ее отсутствии; k_1, k_2 и j – константы, определяемые при калибровке.

Сигнал с нити термоанемометра усиливают в 10 раз и подают на вход 12-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и далее в компьютер, где данные измерений накапливают в памяти в виде массива и затем подвергают программной обработке стандартным логарифмическим методом.

Максимальная ошибка при калибровке термоанемометра не превышает 10 % от значения скорости u. Погрешность измерения среднего во времени значения продольной компоненты скорости потока пара с помощью термоанемометра достигает 30 % (± 0,3 см/с).

Результаты измерений скорости потока пара в критическом сечении сопла в зависимости от величины температурного напора $\delta T = T - T_{\text{B}}$ на внешней поверхности испарителя ТТ приведены на рис. 4 [3–6; 13]. Здесь же проведено сравнение экспериментальных значений скоростей потока пара в критическом сечении сопла и в стандартном цилиндрическом паровом канале ТТ в зависимости от температуры перегрева испарителя над температурой кипения диэтилового эфира, при равной площади сечений каналов.

Проведено сравнение скоростей потоков пара, испускаемых плоским пористым испарителем с капиллярными инжектирующими каналами и плоским пористым испарителем без инжектирующих каналов в зависимости от температуры перегрева испарителя над температурой кипения диэтилового эфира (рис. 5).

Число Рейнольдса Re = 0,06. Число Прандтля Pr = 0,77.

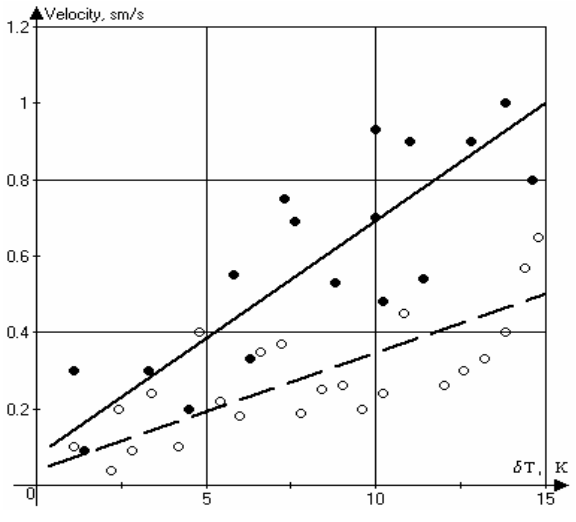


Рис. 4. Сравнение экспериментальных значений скорости потока пара, см/с, измеренных в критическом сечении сопла (●) и в стандартном цилиндрическом паровом канале (○) в зависимости от величины перегрева испарителя δ*T* над температурой кипения теплоносителя, К, при одинаковой площади сечения паровых каналов и на одинаковом расстоянии от испарителя Сплошной линией обозначены расчетные аппроксимирующие значения скорости в критическом сечении сопла, пунктирной – скорости в стандартном цилиндрическом канале, см/с

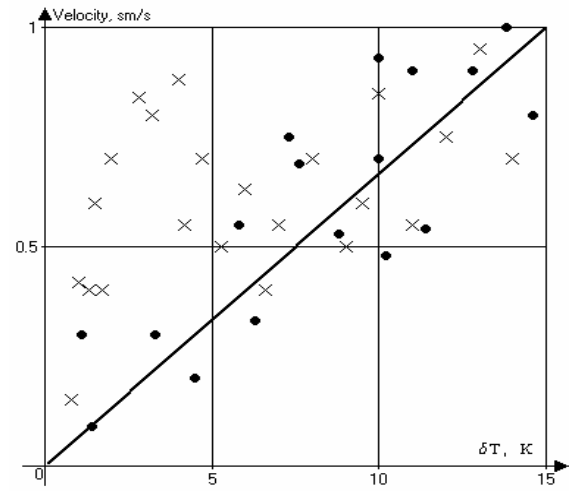


Рис. 5. Сравнение экспериментальных значений скорости потоков пара, см/с, измеренных в критическом сечении сопла, испускаемых испарителем с инжектирующими паровыми каналами (×) и испарителем без инжектирующих паровых каналов (●) в зависимости от величины перегрева испарителя δ*T* над температурой кипения теплоносителя, К. Сплошной линией обозначены расчетная кривая скорости потока пара над испарителем без инжектирующих паровых каналов, см/с

Положительные свойства сопла Лаваля проявляют себя и в тепловых трубах, где движение капельного теплоносителя в паровой фазе близко к конвективному и проблема интенсификации теплопередающих характеристик за счет увеличения скорости потока в паровом канале весьма значима.

Экспериментально подтверждено увеличение скорости потока пара внутри парового канала ТТ, выполненного в виде сопла, близкого к соплу Лаваля, по сравнению со стандартным цилиндрическим паровым каналом.

При оснащении мелкопористого испарителя сквозными капиллярными инжектирующими каналами при малых тепловых нагрузках скорость потока пара над каналами оказывается выше, чем над мелкопористым испарителем без каналов. При дальнейшем увеличении тепловой нагрузки на ТТ разница скоростей потоков пара над испарителями с инжектирующими каналами и без них уменьшается и становится меньше погрешности измерений.

Библиографические ссылки

1. Glaser A. Наблюдение следов быстрых заряженных частиц в жидкостной камере // УФН. 1954. Т. 52. № 1. С. 167–170.

2. ГОСТ 8.563.1–9. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения [Электронный ресурс]. URL: http://gostexpert.ru (дата обращения: 31.01.2012).

3. Специальная система охлаждения матричных фотоприемных устройств / А. В. Серяков, В. А. Карачинов, С. В. Ильин, К. И. Ившин // Соврем. телевидение и радиоэлектроника : тр. 19 Междунар. науч.-техн. конф. М., 2011. С. 78–79.

4. Seryakov A. V., Konkin A. V., Belousov V. K. The intensification of heat-transfer characteristic of heat pipes // Proc. of the VIII Minsk Intern. Seminar of Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources. Vol. 2. Minsk, 2011. P. 59–65.

5. Пат. на полезную модель № 95812 РФ, МПК F 28D 15/00 / Устройство заполнения тепловых труб несмачивающей жидкостью / Серяков А. В. Опубл. 10.07.2010. Бюл. 19.

6. Пат. № 2431101 РФ, МПК F 28D 15/00 / Способ заполнения тепловых труб / Серяков А. В. Опубл. 10.10.2011. Бюл. 28.

7. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление : справ. пособие. М. : Энергоатомиздат, 1990.

8. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Атомиздат,1979.

9. Бредшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение. М. : Мир, 1974.

10. Ярин Л. П., Генкин А. Л., Кукес В. И. Термоанемометрия газовых потоков. Л. : Машиностроение, 1983.

11. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : справочник : пер с англ. М. : Атомиздат, 1979.

12. Жукаускас А. А. Конвективный перенос в теплообменниках. М. : Наука, 1982.

13. Серяков А. В., Конькин А. В., Белоусов В. К. Увеличение скорости струи в паровом канале тепловых труб среднетемпературного диапазона // Решетневские чтения : материалы XV Междунар. науч. конф. Ч. 1. Красноярск, 2011. С. 354–355.

A. V. Seryakov, A. V. Konkin, V. K. Belousov

APPLICATION OF STEAM JET NOZZLE IN HEAT PIPES OF MEAN TEMPERATURE RANGE

The work presents a part of a complex rated experimental research of heat-transfer intensification characteristics of the heat pipes of medium temperature range.

At the butt (axial) direction of heat flow at the inlet into the heat pipe, being characteristic for the space application, appears a possibility of the jet steam nozzle usage which is analogous to the Laval nozzle and surrounded with a capillary porous insertion layer along the whole length, which increases the steam flow velocity and the heat pipe limit parameters.

Keywords: heat pipe of the medium temperature range, capillary porous insertion, capillary steam injectors, Laval nozzle.

© Серяков А. В., Конькин А. В., Белоусов В. К., 2012

УДК 62-233.3/.9

А. П. Смирнов, А. А. Иптышев, Д. В. Вавилов, А. В. Шигина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С МАЛОЙ РАЗНОСТЬЮ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ. ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Представлена реализация объектно-ориентированной модели в виде программного комплекса для синтеза и моделирования взаимодействия геометрии разномодульных зубчатых пар внешнего и внутреннего зацепления GearAnalysis, выполнение синтеза геометрии разномодульной зубчатой пары внутреннего взаимодействия и ее анализ в CAE-пакетах.

Ключевые слова: зубчатые колеса, объектно-ориентированная модель, объектно-ориентированная декомпозиция, синтез зубчатых пар, имитационное моделирование.

Разработка программ с большим количеством объектов и программных модулей требует проведения объектно-ориентированного анализа расчетных моделей и объектно-ориентированной декомпозиции задачи. При этом не существует общепризнанного наилучшего способа проведения декомпозиции, но в ряде источников [1; 2] при создании моделей рекомендуется заострять внимание на сущностях, характерных для исследуемой предметной области, в данном случае на зубчатых парах (рис. 1).

Проектирование зубчатых передач (ЗП) по заданным показателям качества является достаточно сложной технической задачей. При декомпозиции данного процесса можно выделить следующие основные объекты: объект с параметрами зубчатого колеса (профиль, возможно, параметры ступицы и др.), объект с параметрами зубчатой передачи (к таковым можно отнести межосевое расстояние), объект с моделью описания профилей зубчатых колес, объект с алгоритмом вычисления граничных условий кривых, образующих профиль зубчатого колеса, объект с алгоритмом для выполнения анализа зубчатой пары (нахождение точек контакта, получение углов входа/выхода из зацепления, получение передаточной функции, линии зацепления и др.), кроме того, объекты для импорта/экспорта геометрии зубчатых пар в другие программные продукты. Также при решении задачи разработки программного обеспечения необходимо выделить служебные объекты, позволяющие наращивать базовый функционал и осуществлять адаптацию под требуемую задачу или CAD/CAE-среду. По многообразию используемых сущностей и их свойств можно судить о сложности разрабатываемого программного обеспечения.

После проведения объектно-ориентированной декомпозиции была создана объектно-ориентированная модель (рис. 2), на основе которой был разработан программный комплекс для синтеза геометрии и моделирования взаимодействия зубчатых пар GearAnalysis.

В данную объектно-ориентированную модель заложен функционал обеспечения синтеза геометрии разномодульных зубчатых пар внешнего и внутреннего зацепления, позволяющий выполнять визуальное моделирование взаимодействия зубчатых пар и подключать дополнительные программные модули, например, программный модуль для экспорта геометрии в CAD-среду. Таким образом, можно сделать вывод, что данная объектно-ориентированная модель дает возможность решать задачи автоматизированного проектирования зубчатых передач с применением плагинов автоматизированной передачи зубчатых колес с наиболее приближенным профилем в CAD/CAE-среды для проведения компьютерных анализов работоспособности зубчатых передач и включения в состав проектируемых изделий.

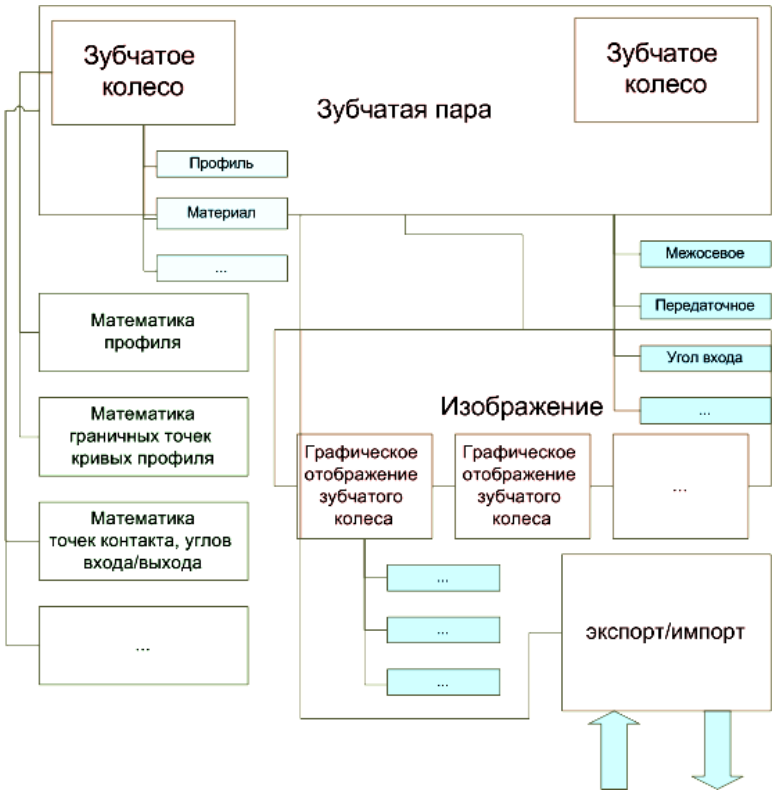


Рис. 1. Схема объектно-ориентированной декомпозиции процесса синтеза геометрии зубчатых пар

В разработанном программном комплексе предусмотрена как возможность использования стандартных эвольвентных зубчатых профилей [3], так и возможность варьировать параметры профиля с целью получения нестандартных профилей с последующим их анализом. Такими нестандартными профилями могут являться профили, полученные по параметрам профилей втулки или вала со шлицевым эвольвентным профилем [4], а также подобранные к ним зубчатые колеса, имеющие стандартный эвольвентный профиль, с варьируемыми коэффициентами высоты зуба, смещения и другими параметрами.

В основу алгоритма программного комплекса заложены разработанные авторским коллективом математические модели, описывающие профиль зубчатых колес и представленные в диссертационных работах [5; 6]. Данные модели основаны на применении теории огибающих кривых, позволяющих более точно описать геометрию профиля зубчатого колеса в сравнении со стандартным эвольвентным профилем. Представленные математические модели позволяют получить геометрию профилей как внешних, так и внутренних зубчатых колес.

Для подтверждения работоспособности зубчатой пары в программном комплексе реализованы механизмы анализа, которые дают возвожность вычислять расстояние между зубчатыми парами, находить точки контакта, углы входа/выхода в зацепление, вычислять радиусы кривизны профилей зубчатых колес в местах касания профилей. Это позволяет определять на этапе проектирования геометрические параметры, при которых возможно кромочное взаимодействие, и в автоматизированном режиме изменять параметры зубчатой пары таким образом, чтобы минимизировать воздействие данного фактора. Кроме того, реализован функционал для вычисления и построения передаточной функции зубчатой пары и линии зацепления профилей.

В состав программного комплекса вошел функционал, обеспечивающий возможность расширения базовых возможностей системы (см. рис. 2). Одним из таких модулей стал плагин plugin_solidworks.gap с реализацией функций экспорта геометрии получаемых зубчатых пар в CAD-среду SolidWorks. Данный программный модуль производит построение моделей зубчатых колес в среде проектирования SolidWorks и модели сборки зубчатой пары. Работа плагина реализована с применением технологии ActiveX для связи с CAD-системой SolidWorks 2007 средствами API SolidWorks.

Таким образом, использование программного комплекса, реализованного на базе предлагаемой объектно-ориентированной модели, позволит существенно снизить временные издержки на разработку изделий, в состав которых входят зубчатые передачи.

Для примера приведен один из вариантов использования подхода к проектированию зубчатой передачи с малой разностью чисел зубьев, в основе которой лежит приближенное зацепление внутреннего колеса планетарной передачи, нарезанное протяжкой с углом профиля 30° (модуль 2,5 мм) и шестерни, нарезанной стандартным инструментом с углом профиля 20° (модуль 2,25 мм).

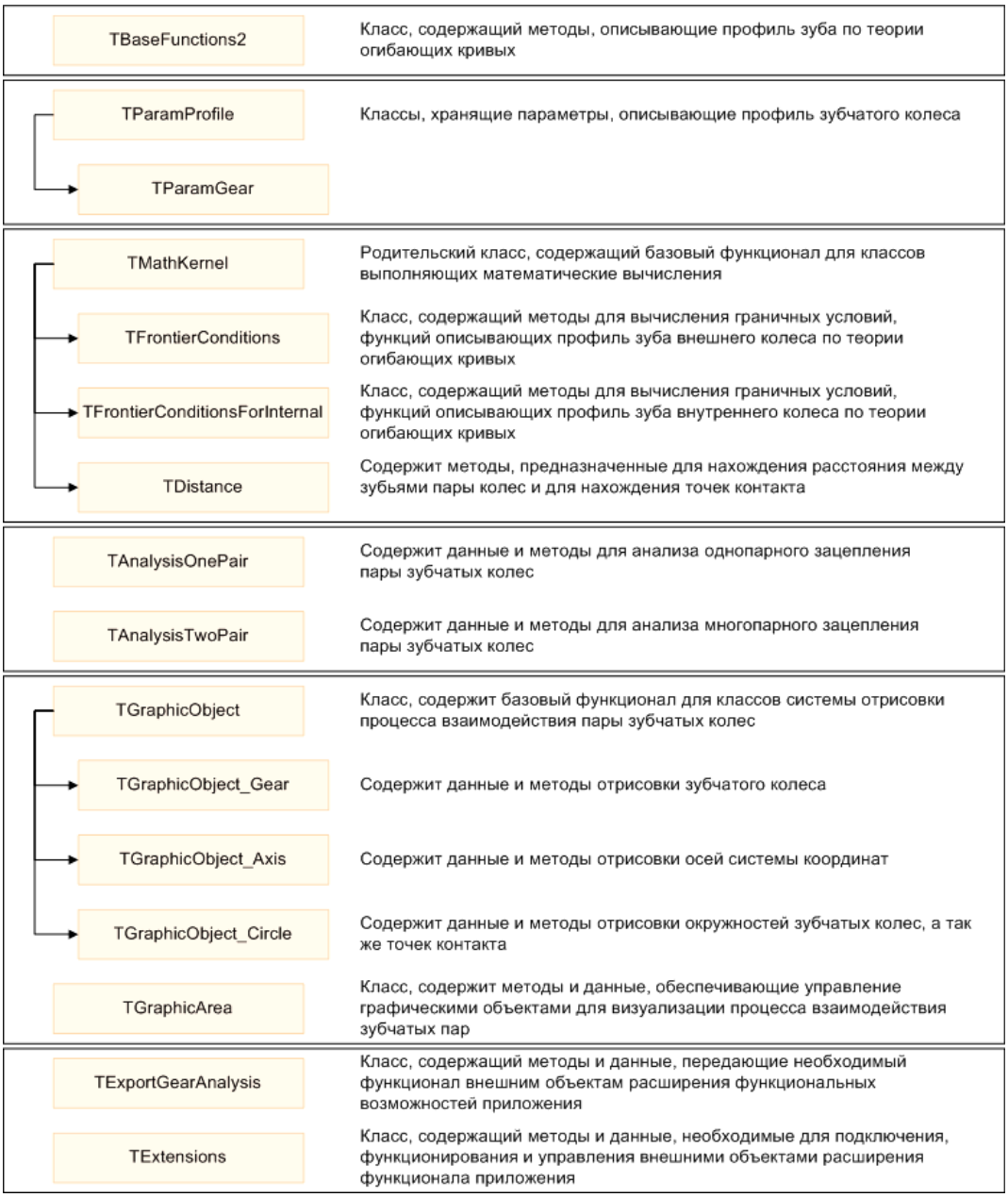


Рис. 2. Объектно-ориентированная модель приложения

Существующие методики расчета не позволяют получить работоспособную передачу с такими параметрами. В данной работе приведены результаты геометро-кинематических исследований планетарной передачи типа K-H-V с малой разностью чисел зубьев и «разномодульным» зацеплением, на основе которых создана малогабаритная ручная лебедка. Модель такой передачи исследована с помощью предлагаемого программного комплекса GearAnalysis (рис. 3).

После синтеза геометрии в программном комплексе GearAnalysis с целью проверки работоспособности зубчатой пары с помощью программного модуля, входящего в состав программного комплекса plugin_solidworks.gap, был осуществлен экспорт геометрии и автоматизированное построение зубчатых колес в CAD-среде SolidWorks.

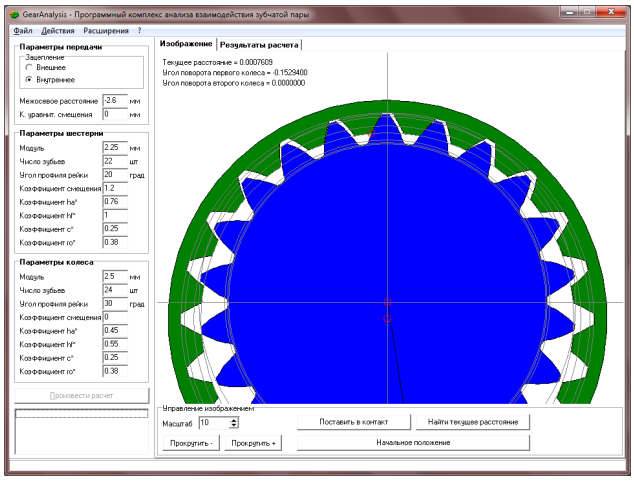


Рис. 3. Синтез геометрии зубчатой пары в GearAnalysis

Через систему SolidWorks твердотельные модели были экспортированы в инструмент для проверки работоспособности и исследования кинематики «разномодульной» передачи с выбранными параметрами MSC.VisualNastran Desktop (рис. 4).

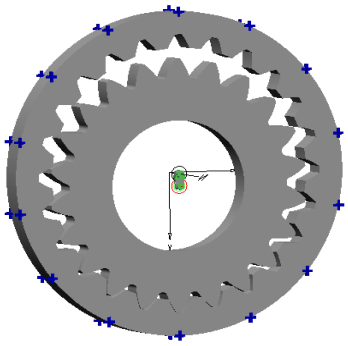


Рис. 4. Имитационная модель передачи в VisualNastran 4D

На кинематические характеристики разномодульной планетарной ЗП влияет несколько геометрических параметров профиля. Наиболее существенное влияние на передаточную функцию и значения передаточного числа передачи оказывают межосевое расстояние (эксцентриситет); коэффициент смещения на шестерне; коэффициент высоты головки зуба шестерни (для обеспечения собираемости передачи).

С помощью программного комплекса GearAnalysis были подобраны параметры, при которых передача существует и обеспечивается ее собираемость. Однако для качественной оценки параметров передачи требуется вычислительное моделирование.

В результате численных экспериментов моделирования взаимодействия шестерни и колеса получены зависимости передаточного отношения U внутренней ЗП от времени t.

Параметры функций передаточного отношения ЗП соответствуют опытам 1, 2 и 3 (рис. 5).

Большие колебания передаточной функции в начальный момент времени – ошибка интегрирования, связанная с выбором бокового зазора при начале движения. В начальный момент времени передача не находится в зацеплении, следовательно, до контакта с колесом шестерня проворачивается вхолостую, при этом передаточное отношение стремится к бесконечности. Далее рабочие поверхности взаимодействуют, при этом происходит удар и отскок (в модели не учитываются деформации валов, смазка и опоры, существенно гасящие колебания), пока передача не достигнет установившегося режима (0,15 с на рис. 3). При этом колебания, возникающие в первом варианте передачи с 0,4 с, показывают ошибочность выбора параметров, так как в результате обкатки колеса на определенном шаге возникает заклинивание передачи, что вызывает резкие изменения передаточной функции. В реальности это приведет к подклиниванию передачи, а под нагрузкой возможно разрушение контактных поверхностей.

Рассмотрим график изменения передаточной функции во времени (рис. 6). Передаточная функция меняется во время контактного взаимодействия, при этом усредненное передаточное отношение составляет 10,85, а отклонение передаточного числа составляет 0,5 единиц и не превышает 5 %.

Исследование напряженно-деформированного состояния силового привода механизма лебедки выполнено с использованием пакета конечно-элементного моделирования Ansys. Решение контактной задачи – это высоконелинейный процесс, требующий большого количества итераций при проведении моделирования. Для снижения требуемого количества ресурсов и времени расчета задача взаимодействия моделировалась в двухмерной постановке с использованием конечных элементов типа Plane42 (см. рис. 6), содержащей 4 узла, и возможностью учета физической и геометрической нелинейности [7]. Задана толщина элемента 10 мм.

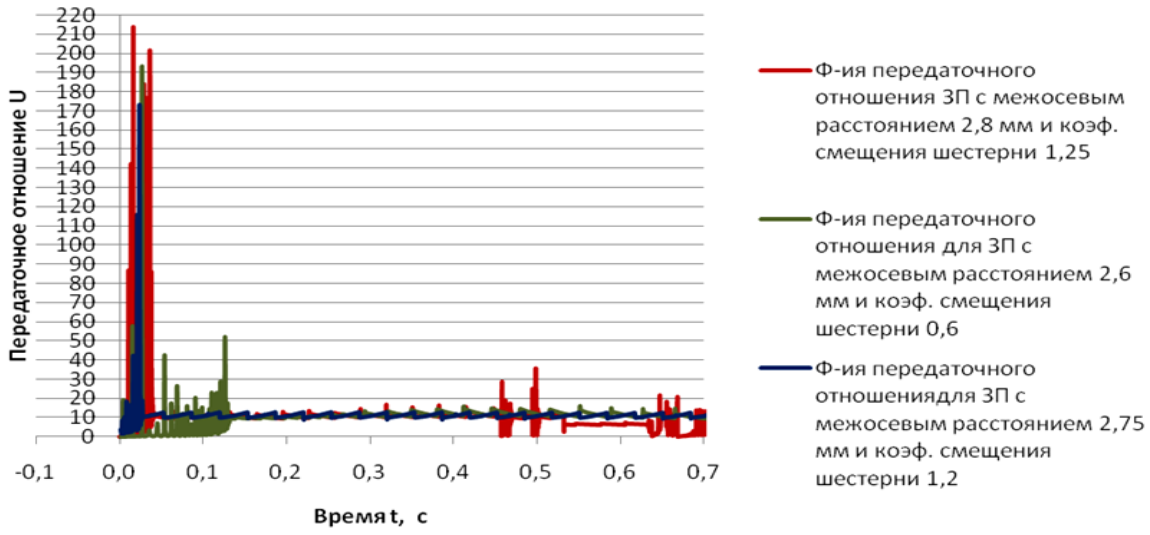


Рис. 5. Функции изменения передаточного отношения ЗП

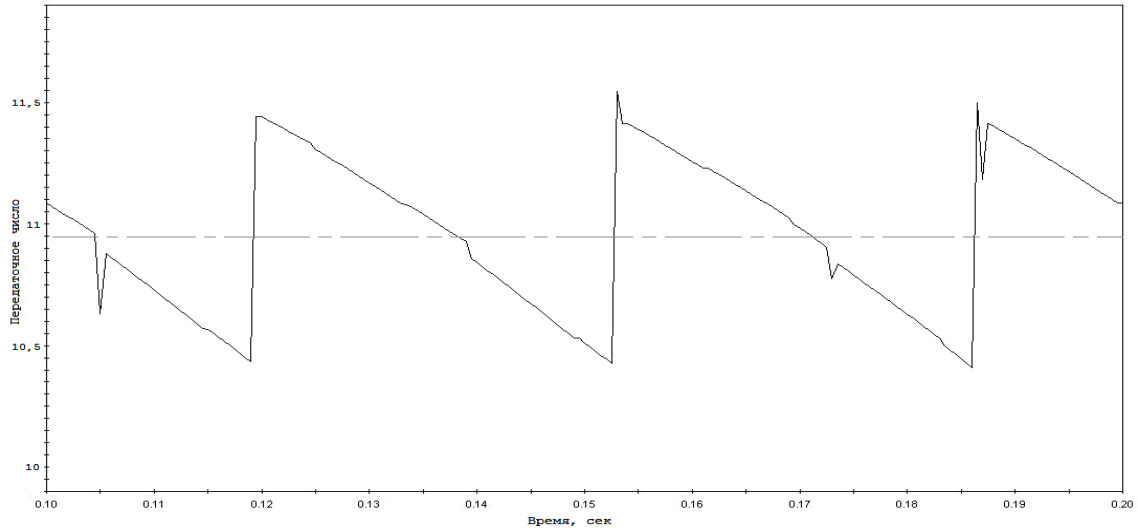


Рис. 6. График изменения передаточной функции пары с выбранными параметрами

Для получения достоверных результатов моделирования была модифицирована конечно-элементная сетка на контактирующих частях рабочих поверхностей зубьев. В качестве материала задана сталь 40Х со следующими параметрами: модуль Юнга: $2{,}1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона – 0,28, предел текучести – 700 МПа, плотность – 0,007 8 г/мм^3.

Согласно проведенному кинематическому расчету, шестерня совершает сложное циклическое движение относительно колеса, что требует использования специальных конечных элементов, приводящих расчет к трехмерной постановке. Для решения данной проблемы был использован метод суперпозиций. В представленной модели колесо совершает вращение вокруг своей оси, а шестерни ограничены перемещением по оси вращения. В качестве нагрузки задан крутящий момент сопротивления 10 000 Н·мм в противоположном направлении от вращения колеса.

Для созданной модели был проведен динамический расчет с большим количеством итераций и учетом кинематики взаимодействия зубьев передачи. В результате моделирования получено распределение напряжений.

Наибольшие напряжения возникают в зоне контакта (рис. 7), что вызывает появление пластических деформаций в модели. Величина изгибающих напряжений зуба шестерни лежит в диапазоне 625…750 МПа, что близко к пределу текучести материала.

Распределение пластических деформаций в результате взаимодействия (рис. 8) показывает, что пластические деформации возникают в вершинах зубьев колеса и на боковых поверхностях зубьев шестерни. Величина деформации не превышает 16 % от первоначального размера для колеса и 4 % для шестерни, это означает, что пластическая деформация кромки вершины зубьев колеса идет более интенсивно, чем боковой поверхности шестерни. Пластическая деформация приводит к упрочнению боковых поверхностей зубьев за счет поверхностного наклепа [7].

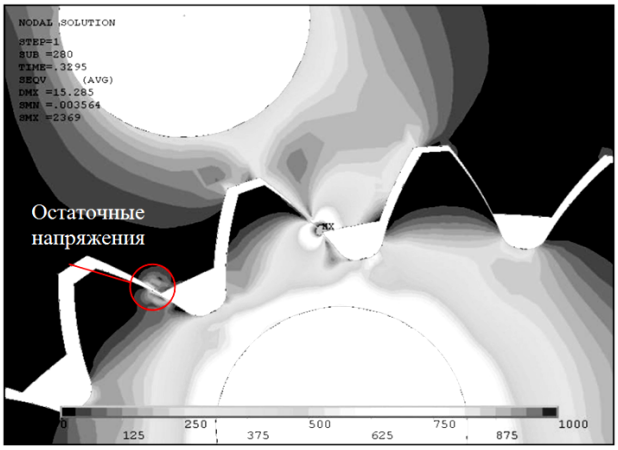


Рис. 7. Эквивалентные напряжения в процессе взаимодействия

В процессе работы передачи под нагрузкой возникает ситуация, при которой нагрузка перераспределяется между двумя зубьями. Это приводит к снижению контактных напряжений (рис. 9).

Большой коэффициент перекрытия в передаче достигается в основном за счет малой разности числа зубьев колеса и шестерни.

В результате проведенных исследований были получены величины действующих напряжений и деформаций зубьев в приближенном зацеплении зубчатой пары с кромочным взаимодействием. Показано, что даже в случае кромочного контакта при нагрузках, не превышающих номинальные, зубчатая пара прирабатывается, что может быть реализовано изготовителем как в процессе подготовки к эксплуатации, так и в условиях эксплуатации при выполнении соответствующих инструкций. Созданный образец с планетарной передачей типа K-H-V, составленной из разномодульных колес, работоспособен, обеспечивает расчетные характеристики.

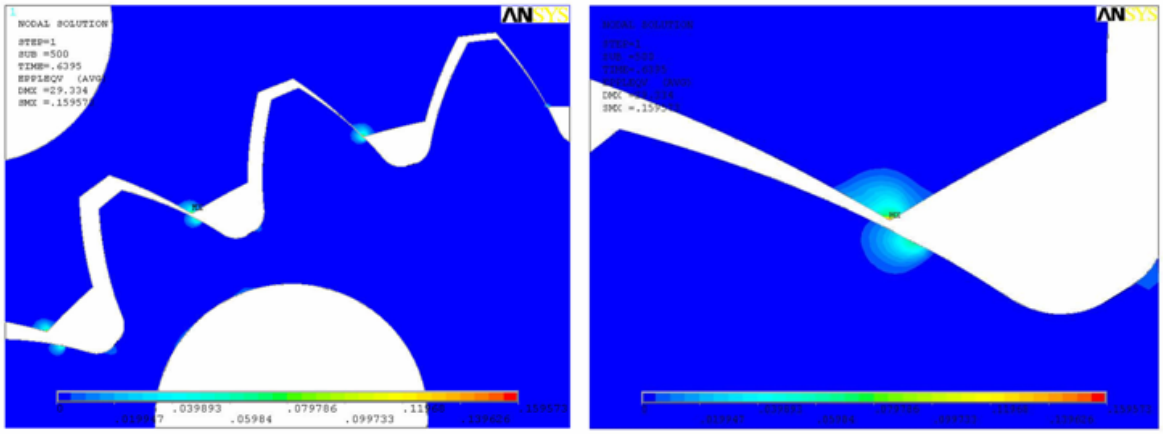


Рис. 8. Пластические деформации в модели

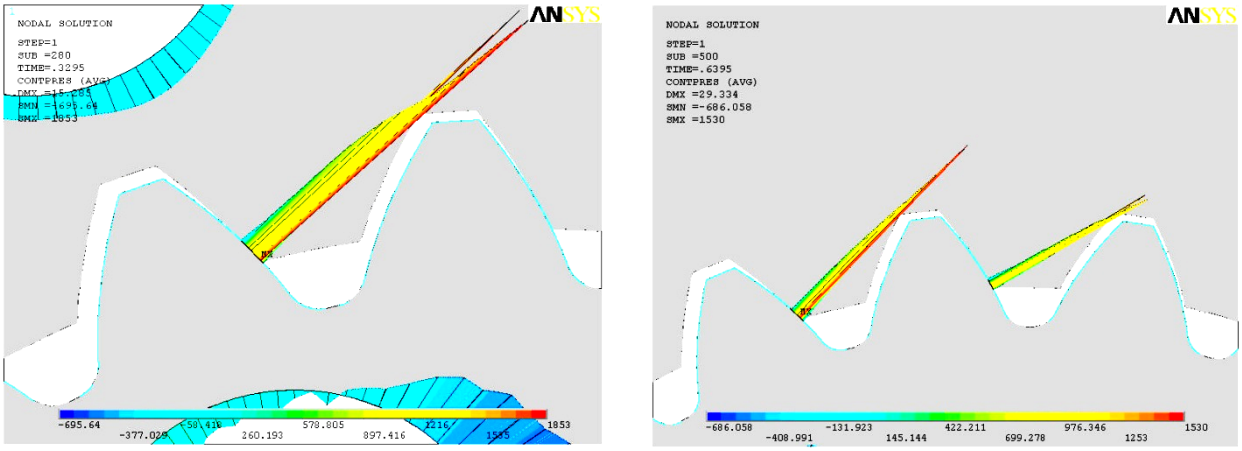


Рис. 9. Эпюра контактных давлений в процессе однопарного и многопарного взаимодействия зубьев проектируемой передачи

Таким образом, проектирование разномодульных зубчатых пар по предлагаемой методике с применением программного комплекса GearAnalysis показало возможность синтеза зубчатой пары внутреннего зацепления с малой разностью чисел зубьев, составленной из колес с внешним эвольвентным и внутренним шлицевым профилем и разными модулями. Минимизация кромочного эффекта в зацеплении и применение известных технологических приемов подготовки такой передачи к эксплуатации, включая эффективные технологии собственно формообразования зубьев, позволяет рассчитывать на расширение спектра применения такой передачи, что потребует проведения дополнительных исследований.

Библиографические ссылки

1. Буч Г., Максимчук Р. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. 3-е изд. М. : Вильямс, 2008.

2. Шлеер С., Меллор С. Объектно-ориентированный анализ: моделирование мира в состояниях : пер. с англ. Киев : Диалектика, 1993.

3. ГОСТ 13755–81 Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Исходный контур [Электронный ресурс]. URL: http://gostexpert.ru (дата обращения: 14.02.2012).

4. ГОСТ 6033–80 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые эвольвентные с углом профиля 30 град. Размеры, допуски и измеряемые величины [Электронный ресурс]. URL: http://gostexpert.ru (дата обращения: 14.02.2012).

5. Иптышев А. А. Проектирование прямозубых конических передач из условия предотвращения заклинивания : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2002.

6. Колбасина Н. А. Проектирование зубчатых передач из условия минимизации кромочного взаимодействия зубьев : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2004.

7. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность) : учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МСХА, 2001.

A. P. Smirnov, A. A. Iptyshev, D. V. Vavilov, A. V. Shigina

DESIGN OF INTERNAL INTERACTION OF TOOTH GEAR WITH SMALL DIFFERENCE IN TEETH NUMBER . OBJECT-ORIENTED APPROACH

The authors present realization of object-oriented model in the shape of a program complex for synthesis and modeling of interaction of geometry differ–modular external and internal tooth gears GearAnalysis, execution of synthesis of geometry differ–modular external and internal tooth gears and its analysis in CAE–programs.

Keywords: tooth gears, object-oriented model, object-oriented decomposition, synthesis of tooth gears, simulation.

© Смирнов А. П., Иптышев А. А., Вавилов Д. В., Шигина А. В., 2012

УДК 629.78.023.222

А. А. Чернятина, В. А. Харламов, Р. А. Ермолаев, А. С. Паршин, Г. А. Александрова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОПРОЗРАЧНОГО ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ ЭКРАНАХ*

Изготовлен радиопрозрачный терморегулирующий материал на основе полиимидной пленки с германиевым покрытием. Исследованы оптические, электрические и радиотехнические характеристики материала в зависимости от толщины слоя германия. Показано, что полученные образцы германиевого покрытия имеют требуемые исходные характеристики для возможности применения в качестве солнцезащитных экранов рефлекторов и излучателей антенн космических аппаратов.

Ключевые слова: радиопрозрачное терморегулирующее покрытие, германиевое покрытие, солнцезащитный экран.

Решение всей совокупности сложных конструкционных, технических и технологических задач при разработке, создании и эксплуатации космических средств невозможно без широкого развития и внедрения результатов космического материаловедения. При разработке современных космических аппаратов (КА) требуются новые материалы, которые должны выдерживать нагрузки космических полетов (высокую температуру, давление и вибрационные нагрузки на этапе выведения, перепады температур, связанные с солнечной освещенностью при движении искусственного спутника Земли по орбите в космическом пространстве, глубокий вакуум, радиационное воздействие, электростатические разряды, микрометеориты и микрочастицы и т. д.) и иметь достаточно низкую удельную массу. Весь спектр воздействий на металлические и неметаллические элементы конструкций оказывает существенное влияние на их физические свойства и, как следствие, на надежность и долговечность космических средств различного назначения.

Одним из основных факторов, определяющих надежность и долговечность работы КА, является стабильность его теплового режима, так как современная оптическая и радиоэлектронная аппаратура КА работает в узком диапозоне температур. В систему терморегулирования аппаратов входят различные терморегулирующие покрытия (ТРП), которые устанавливают баланс между выделением тепла внутри КА, энергией, поглощаемой из космоса, и энергией, излучаемой в космическое пространство.

ТРП характеризуются терморадиационными характеристиками, которые под действием различных факторов космического пространства (из них наиболее значимым является ионизирующее излучение) могут ухудшаться, что приводит к увеличению температуры внутри КА и снижению сроков его активного существования (САС). Для создания перспективных современных КА с САС до 15 лет необходимо создание ТРП, обладающих низким газовыделением, стабильными терморадиационными характеристиками и достаточной электропроводностью при длительной эксплуатации в космосе. Разработка таких покрытий позволит снизить до минимума отклонения от заданного теплового режима, уменьшить сбои в работе и отказы высокочувствительной оптической и радиоэлектронной аппаратуры, что даст возможность обеспечивать САС КА до 15 лет [1; 2].

Так, для защиты рефлекторов и облучателей антенн применяются светозащитные терморегулирующие экраны. Применяемые ранее экраны из нескольких слоев стеклоткани обладали рядом недостатков: выделяли пылевые частицы, имели большую массу (~ 300 г/м^2) и накапливали электростатический заряд, так как стеклоткань является диэлектриком.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (№ контракта П590).

В данной работе в качестве перспективного материала светозащитных экранов предлагается использовать покрытие на основе радиационно стойкой полимерной пленки с напыленным на нее полупроводниковым материалом с высоким показателем преломления ($n > 3$) и электрическим сопротивлением, достаточно высоким для обеспечения радиопрозрачности материала и одновременно обеспечивающим стекание электростатического электричества, т. е. в диапазоне $10^6 \ldots 10^8$ Ом/□. В качестве пленки-подложки может быть использована полиимидная пленка, обладающая высокой радиационной стойкостью (I группа по ГОСТ 9.711–85) и широким температурным диапазоном эксплуатации.

Целью данной работы является опробование нанесения тонких слоев полупроводников (германия и оксида индия) на полиимидную пленку для применения в качестве терморегулирующих, радиопрозрачных экранов рефлекторов и облучателей антенн.

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 (Material specification. M42CD03Z. Polyimmide film metalized with germanium for thermal control application / Alenia Aerospazio).

Методика экспериментальных исследований. Тонкие слои германиевого покрытия и слои оксида индия на полиимидной пленке получали методом термического испарения в вакууме с резистивным нагревом на лабораторной установке УВН-74П3.

Перед напылением, для обеспечения адгезии покрытий к пленке, подложки обрабатывали в тлеющем разряде (продолжительность обработки 3…5 мин).

Скорость испарения германия и оксида индия определяли с помощью кварцевого резонатора и прибора КИТ-1.

Были получены серии пленок с разными толщинами напыленного германия (от 0,03 до 0,32 мкм) при скорости конденсации германия от 3 до 40 Å/с в вакууме $(0{,}9 \ldots 2) \cdot 10^{-5}$мм рт. ст. Толщина слоя оксида индия составила 5…10 нм.

Толщину слоя германия определяли на стеклянных образцах-свидетелях с помощью микроинтерферометров МИИ-4 и МИИ-11.

Измерение коэффициента отражения солнечного излучения R_S и коэффициента излучения E_n образцов пленок с германиевым покрытием проводили при помощи фотометра ФМ-59 и терморадиометра ТРМ-И. Спектральное пропускание T_λ измеряли спектрофотометрами СФ-26 и LAMBDA 950 в диапазоне длин волн от 250 до 2 500 нм.

Интегральный коэффициент пропускания T_S рассчитывался как среднее арифметическое значений T_λ, измеренных на длинах волн, соответствующих разбиению диапазона длин волн солнечного спектра на 50 равноэнергетических участков.

Изучение микрорельефа поверхности германиевого покрытия на полиимидной пленке проводили методами оптической микроскопии и атомно-силовой сканирующей зондовой микроскопии.

Поверхностное электросопротивление $\rho_\square$ измеряли при помощи двухэлектродного датчика, тераомметром типа Е6-13А. Контроль радиотехнических характеристик проводили с помощью измерителей КСВН панорамных Р2-67 и Р2-65.

Результаты и их обсуждение. Полученное германиевое покрытие имеет темно-серый цвет с зеркальным блеском. При толщине слоя германия более 0,15 мкм наблюдается скручивание пленки-основы, что говорит о возникновении внутренних напряжений. В то же время, при толщинах 0,03…0,05 мкм германиевое покрытие полупрозрачно, что недопустимо для применения в качестве солнцезащитных экранов, так как может привести к перегреву закрываемой поверхности.

Проведены измерения интегрального коэффициента отражения солнечного излучения (R_S) и расчета интегрального коэффициента пропускания (T_S) (рис. 1).

Коэффициент отражения солнечного излучения R_S германиевого покрытия зависит от толщины покрытия и связан с интерференционными эффектами. Наибольшая величина R_S достигает 0,66 и соответствует толщине покрытия от ~0,05 до ~0,06 мкм.

При увеличении толщины напыленного германия пропускание T_S уменьшается. Максимальное пропускание света для толщины 0,03 мкм составляет 39 %. Минимального пропускания можно добиться напылением германия на полиимидную пленку с двух сторон, так на образцах с толщиной напыленного германия 0,10 и 0,12 мкм пропускание T_S равно 8 %.

Для такого образца получена зависимость пропускания T_λ от длины волны (рис. 2).

Для образцов пленки с напыленным германием измерены коэффициенты отражения и пропускания света в диапазоне длин волн 380…1100 нм (рис. 3).

Коэффициент отражения пленки с германиевым покрытием толщиной 0,056 мкм выше, чем с покрытием толщиной 0,15 мкм (на длинах волн 600…1 100 нм). Это объясняется усилением отражения за счет интерференции: толщина германия 0,056 мкм соответствует оптической толщине $\lambda/4$ для длины волны 900 нм.

Приведены измерения поверхностного сопротивления напыленного германиевого покрытия (рис. 4).

При увеличении толщины напыленного германия поверхностное сопротивление $\rho_\square$ уменьшается. Требуемое поверхностное сопротивление ($\leq 10^8$ Ом/□) достигается при толщине слоя германия не менее 0,08 мкм.

Таким образом, установлено, что пленки с толщиной слоя германия 0,08…0,10 мкм наиболее полно соответствуют требованиям к покрытию (см. рис. 2–4).

Структуру поверхности образцов германиевого покрытия с толщиной слоя германия 0,08 мкм и подслоем оксида индия толщиной ~0,005 мкм исследовали на сканирующей зондовой нанолаборатории «Интегра Аура» методом АСМ в полуконтактном режиме. Размер сканов 3×3 мкм.

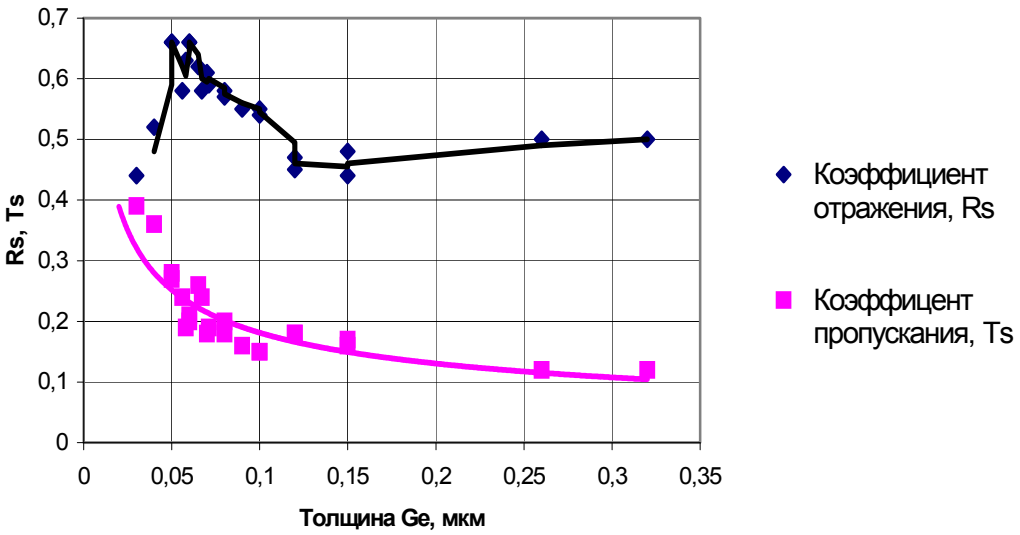


Рис. 1. Зависимость коэффициентов отражения R_S и пропускания T_S от толщины слоя германия

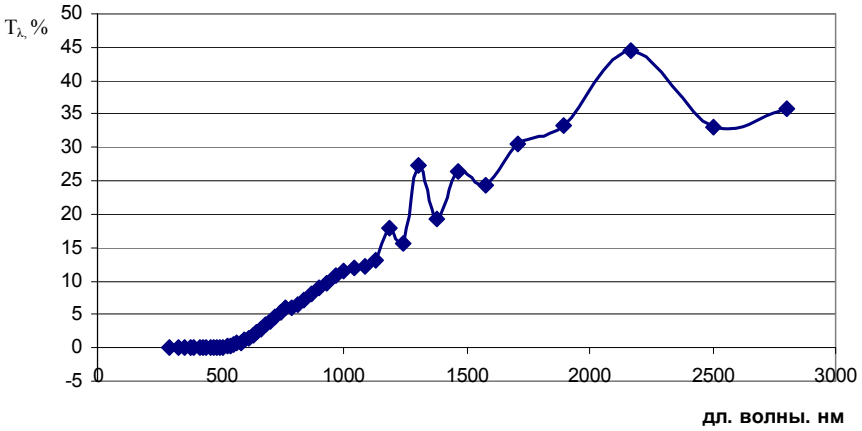


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания T_S от длины волны

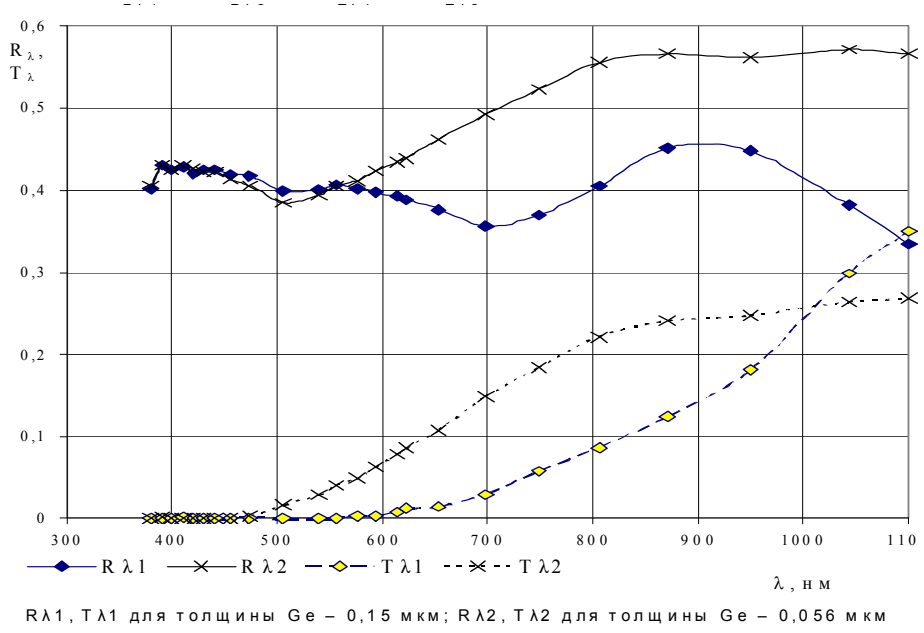


Рис. 3. Зависимость коэффициентов отражения и пропускания от толщины слоя германия и длины волны

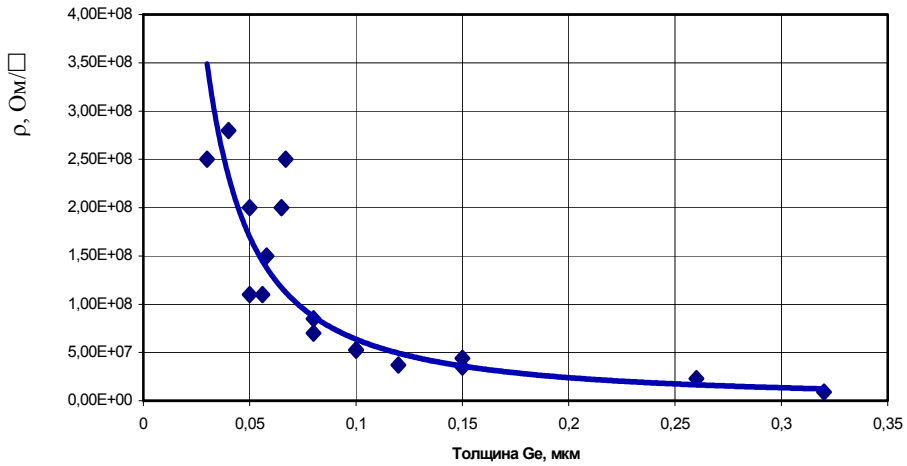


Рис. 4. Зависимость поверхностного сопротивления от толщины слоя германия

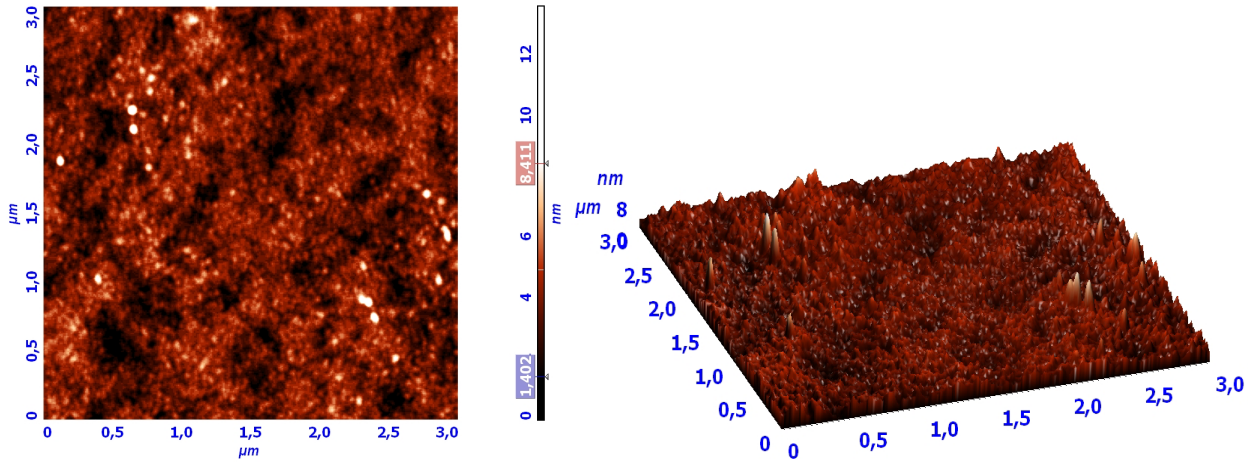


Рис. 5. 2D (слева) и 3D (справа) АСМ-изображения поверхности образца с германиевым покрытием

Данные АСМ-изображений (рис. 5) показывают наличие нанокластеров округлой формы на поверхности исследуемой структуры. Для определения шероховатости поверхности и диаметра нанокластеров была проведена статистическая обработка полученных АСМ-изображений с помощью модуля обработки изображений программы NOVA. Данным методом определено, что средняя высота наноструктур (зерен), составляющих основную часть поверхности образца, достигает 8,5 нм, а их диаметр – около 100 нм. Значение средней шероховатости поверхности германиевого покрытия на полиимидной пленке колеблется от 0,39 до 1,2 нм.

Потери радиоизлучения напыленных германием и оксидом индия пленок не превышают 0,02 дБ в широком диапазоне длин волн, что говорит о достаточной радиопрозрачности материала и возможности его применения в качестве радиопрозрачного экрана.

При нанесении пленок германия разных толщин (от 0,03 до 0,32 мкм), на полиимидную пленку-основу выявлено, что наиболее перспективными являются образцы материала с толщиной слоя германия 0,08…0,10 мкм. Такие образцы обладают достаточным коэффициентом отражения (R_S = 0,54…0,58) и требуемым поверхностным сопротивлением $\rho_{\square} = (6…10)\cdot 10^7$ Ом/□.

Уменьшение коэффициента пропускания светового излучения можно добиться напылением германия на полиимидную пленку с двух сторон. Пробные образцы двухстороннего напыления показали уменьшение коэффициента пропускания T_S до 8 %.

Планируется продолжение исследований с целью разработки и внедрения терморегулирующего радиопрозрачного покрытия для применения в качестве солнцезащитного экрана для рефлекторов и излучателей антенн.

Библиографические ссылки

1. Чернявский Г. М., Графодатский О. С., Козлов А. Г. Анализ сбоев бортовой РЭА геостационарных спутников связи / ЦНТИ «Поиск». СИП. Сер. 1. № 12. М., 1981.

2. Графодатский О. С., Исляев Ш. Н. Взаимодействие спутников связи с окружающей средой / МГП «Раско». Томск, 1993.

A. A. Chernyatina, V. A. Kharlamov, R. A. Ermolaev,
A. S. Parshin, G. A. Alexandrova

EXPERIMENTAL STUDY OF RADIOTRANSPARENT THERMAL CONTROL COATING FOR APPLICATION IN SUNSHIELDS ANTENNAS

Radiotransparent thermal control material, based on polyimide film, with germanium coating is manufactured. Optical, electrical and radiotechnical properties of the material according to germanium layer thickness are studied. It is demonstrated that germanium coating samples have the required properties and can be recommended to be used as sunshields for spacecraft antenna reflectors and horns.

Keywords: radiotransparent, thermal control coating, germanium coating, sunshield.

© Чернятина А. А., Харламов В. А., Ермолаев Р. А., Паршин А. С., Александрова Г. А., 2012

Раздел
4

ЭКОНОМИКА

УДК 338.24

Н. Т. Аврамчикова, А. И. Фролова

РОЛЬ И ЗНАЧИМОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ «ВАЛОВОЙ МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ПРОДУКТ» В ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Рассматривается сущность интегрального показателя «валовой муниципальный продукт» и обосновывается целесообразность его использования в мониторинге как обобщающего показателя оценки уровня социально-экономического развития муниципального образования.

Ключевые слова: мониторинг, муниципальное образование, социально-экономическое развитие, валовой внутренний продукт, валовой муниципальный продукт, показатели развития.

Для определения уровня социально-экономического развития как субъектов Российской Федерации, так и муниципальных образований необходимо большое количество показателей. Официальная статистика по данной теме приводит данные более чем по 120 показателям. Одни показатели прямо отражают уровень жизни населения и социально-экономическую сферу (такие, например, как «валовой региональный продукт», «численность населения», «инвестиции в основной капитал», «отгружено товаров собственного производства», «уровень безработицы» и т. п.) и воспринимаются как основные показатели, практически в целом определяющие достигнутый уровень социально-экономического развития; другие же имеют опосредованный характер (такие, например, как «численность дошкольных учреждений», «число амбулаторно-поликлинических учреждений», «посевная площадь всех сельскохозяйственных культур» и т. п.), поэтому в оценках достигнутого уровня социально-экономического развития эти показатели являются второстепенными или вообще не учитываются.

В середине 90-х годов XX в. была создана система показателей муниципальной статистики, отражающая эти тенденции. Ее итогом стала система индикаторов, предложенных главам местных администраций, для подготовки итоговых докладов об уровне социально-экономического развития муниципалитетов за отчетный год и их планируемых значениях на 3-летний период [1].

Современная оценка итогов хозяйственной деятельности, темпы и пропорции развития отраслей, видов экономической деятельности за отчетный период, прогнозы социально-экономического развития муниципальных образований региона ведутся преимущественно на основе индексов объема выпуска продукции (выполнения работ, оказания услуг), роста уровня и качества жизни, других показателей. Бизнес-планы предприятий основаны на потоках продаж, прогнозируемых объемах и темпах роста чистого дисконтированного дохода.

Отмеченные показатели важны и необходимы, однако такой анализ и прогнозы развития хозяйствующих субъектов разных уровней по несогласованным критериям не обеспечивают единство целей, направления, темпов и роста предприятий, а также экономики региона в целом. Необходима дополнительная обобщающая, интегральная оценка хозяйственной деятельности и социально-экономических процессов на территории с позиции государственных интересов. Существующий подход целесообразно дополнить, по нашему мнению, анализом, оценкой и прогнозированием развития организаций и муниципальных образований территории на основе единого макроэкономического критерия [2].

Обобщающим показателем развития государства в рамках международной системы национальных счетов (СНС-93) признан общий объем валового внутреннего продукта (ВВП), а показателем развития региона – валовой региональный продукт (ВРП). Обобщающим показателем благосостояния региона и государства признаны, соответственно, величины ВРП и ВВП на душу населения.

Показатель ВРП является по своему экономическому содержанию весьма близким показателю валового внутреннего продукта. Однако между показателями ВВП и ВРП есть различия. Основное из них состоит в том, что в ВРП, в отличие от ВВП, не включена добавленная стоимость по нерыночным коллективным услугам (оборона, государственное управление и т. д.), оказываемым государственными учреждениями обществу [3].

По данным Д. Колечкова и Г. Гаджиева, региональные счета рассматриваются как одно из направлений детализации счетов национальной экономики в целом. В Европейском союзе (ЕС) разработана специальная номенклатура территориальных единиц для статистики, включающая пять уровней, в том числе три региональных и два местных. В соответствии с методикой ESA-95 основные макроэкономические агрегаты рассчитываются для достаточно мелких территориальных единиц, в частности, муниципальных образований [4].

В России также имеется опыт подобной работы, например, в республиках Татарстан и Коми, Челябинской и Новгородской областях. Так, в Республике Коми территориальным органом федеральной службы государственной статистики на основе методических

рекомендаций Росстата по исчислению валового регионального продукта разработана и апробирована методика расчета валового муниципального продукта (ВМП). В отечественную литературу этот термин впервые ввели в 2003 г. академик В. Макаров и доктор экономических наук М. Глазырин [4]. По своему экономическому содержанию ВМП – близкий аналог ВРП, рассчитанного производственным методом. Он определяется как сумма валовой добавленной стоимости (ВДС) видов экономической деятельности и секторов экономики, созданной институциональными единицами на территории отдельного муниципального образования. В рыночных ценах ВМП равен сумме ВДС плюс чистые налоги на продукты (ЧНП).

Н. В. Колдомова в своих научных трудах использует такой показатель, как условный муниципальный продукт на душу населения [4] (отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами по основным видам экономической деятельности предприятий промышленности, сельского хозяйства, транспорта, торговли и общественного питания, платных услуг, строительства, на душу населения, тыс. руб./чел.) [4], который определяется по следующей формуле:

$$УМП_{(мун)} = \frac{П + СХ + ТР + ТО + ПУ + С}{Ч_н}$$

где $УМП_{(мун)}$ – условный муниципальный продукт на душу населения; П – отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами по основным видам экономической деятельности – добывающие и обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды (по крупным средним и малым предприятиям); СХ – отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами по «чистым» видам деятельности «Растениеводство», «Животноводство», «Растениеводство в сочетании с животноводством (смешанное сельское хозяйство)»; ТР – перевезено грузов и грузооборот грузовыми автомобилями по крупным и средним предприятиям; ТО – оборот розничной торговли и общественного питания; ПУ – объем платных услуг, оказанных населению; С – отгружено работ и услуг собственными силами предприятий и организаций по «чистому» виду деятельности, «строительство» по крупным и средним предприятиям; $Ч_н$ – численность населения.

Проанализировав показатели социально-экономического развития муниципальных районов Красноярского края, мы предлагаем следующую формулу расчета валового муниципального продукта:

$$ВМП = ОТ + ОРТ + ОБП + ОПУ + ОБУ + ПСП,$$

где ВМП – валовой муниципальный продукт; ОТ – отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами муниципального образования; ОРТ – оборот розничной торговли; ОБП – оборот общественного питания; ОПУ – объем платных услуг населению; ОБУ – объем бытовых услуг населению; ПСП – производство сельскохозяйственных организаций.

Используя данный подход и официальные данные статистики, был рассчитан ВМП муниципальных образований Красноярского края за 2009 г. Красноярский край включает в себя 17 городских округов и 44 муниципальных района. Валовой региональный продукт Красноярского края в 2009 г. оценивается в 764,9 млрд руб. (+105,2 % к предыдущему году) (табл. 1).

Одним из основных факторов, повлиявших на показатели экономики края, явилась реализация крупных инвестиционных проектов, которые утверждены Правительством РФ. Прежде всего, это проекты по освоению Ванкорского нефтегазового месторождения и Нижнего Приангарья (до 2015 г.), строительство железнодорожной линии Кызыл–Курагино в увязке с освоением минерально-сырьевой базы республики Тува (до 2014 г.), создание портовой особой экономической зоны в Емельяновском районе (до 2012 г.), развитие коллаген-хитозановых нанокомплексов в Железногорске (до 2011 г.), создание федерального центра сердечно-сосудистой хирургии в Красноярске, строительство и реконструкция участков автомобильной дороги М-54 «Енисей» – от Красноярска через Абакан, Кызыл до границы с Монголией (до 2015 г.), реконструкция участков автомобильных дорог М-51, М-53, М-55 «Байкал» – от Челябинска через Курган, Омск, Новосибирск, Кемерово, Красноярск, Иркутск, Улан-Удэ до Читы (до 2015 г.), строительство схемы выдачи мощности Богучанской ГЭС (до 2012 г.).

Данные проекты в среднесрочной перспективе дадут существенный прирост объемов производства в Красноярском крае.

Результаты анализа объема и структуры ВМП в территориальном разрезе свидетельствуют:

– об отдаленности крупных промышленных центров, потребителей продукции предприятий, расположенных в МО;

– о недостаточности количества лесовозных автодорог круглогодичного действия (что является одной из основных причин недостаточного освоения расчетных лесосек, главных ресурсов лесообеспеченных районов);

– неудовлетворительности состояния автомобильных дорог, местных автодорог в населенных пунктах из-за недостаточного финансирования на их реконструкцию, ремонт и содержание;

– неэффективности развития малого предпринимательства (проблемы в отводе земельных участков, подготовке проектов и их согласовании, получении сертификатов и лицензий, обязательный ценз по образованию и квалификации);

– сложности экономического положения в МО, определяющего устойчивый характер естественной убыли населения, рост количества распавшихся семей и сокращение количества заключенных браков, отрицательный миграционный процесс;

– высоком уровне безработицы, вследствие которой формируется рост негативных факторов (высокая социальная напряженность, алкоголизм, преступность и пр.);

– недостаточном уровне профессиональной квалификации безработных, нежелании многих из них повысить квалификацию, переквалифицироваться на другие профессии и, вследствие этого, недостаточности квалифицированных кадров на действующих предприятиях.

Расчеты объема ВМП муниципальных районов Красноярского края, произведенные за 2008 г. (данные табл. 2), показали, что весомый вклад в формирование данного показателя внесли следующие муниципальные районы: Шарыповский (удельный вес которого в суммарном ВМП составил 8,14 %), Березовский (с удельным весом 7,72 %), Ужурский (6,93 %), Емельяновский (5,86 %), Канский (4,47 %), Шушенский (3,56 %).

Таблица 1

Валовой муниципальный продукт муниципальных районов Красноярского края

Муниципальные районы Красноярского края	Отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами в действующих ценах по видам экономической деятельности, тыс. руб. [5]		Торговля и услуги, тыс. руб. [5]		Производство в сельскохозяйственных организациях, тыс. руб. [5]		ВМП, тыс. руб.	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Абанский	2258	1 090	0	0	2 603 004	2 380 524,39	2 605 262	2 381 614
Ачинский	470	4 798	0	0	1 198 090	1 420 525,42	1 198 560	1 425 323
Балахтинский	3971	8 877	0	1 446	3 569 850	3 190 496,54	3 573 821	3 200 820
Березовский	20 777,5	16 900,3	2 511	7 370	9 269 818	14 241 385	9 293 107	1 426 565
Бирилюсский	1 483	1 892	2 561	2 002	820 128	512 723,083	824 172	516 617
Боготольский	15 233,8	18 761,7	435	0	1 525 058	1 408 565,28	1 540 727	1 427 327
Богучанский	419 297,5	482 460,1	53 032,6	78 497,8	681 902	215 233,57	1 154 232	776 191
Большемуртинский	43 045,9	49 448,6	0	0	1 788 928	1 683 165,43	1 831 974	1 732 614
Большеулуйский	1445	2 068	41 430,6	23 398	986 614	870 640,58	1 029 490	896 107
Дзержинский	2 442	2 356	0	0	2 312 376	2 094 376,49	2 314 818	2 096 732
Емельяновский	323 707	375 549	123	0	6 733 266	7 115 443,55	7 057 096	7 490 993
Енисейский	268 204,6	295 621,3	0	0	1 209 446	948 258,366	1 477 651	1 243 880
Ермаковский	2 899,4	3 174	0	0	1 633 330	1 192 121,69	1 636 229	1 195 296
Идринский	3 090	3 597	0	0	1 834 324	1 034 526,57	1 837 414	1 038 124
Иланский	70 384,1	5 762,2	1 628	0	1 412 792	1 397 178,31	1 484 804	1 402 941
Ирбейский	16 978	18 615,1	13 110	14 594	2 211 772	2 307 049,65	2 241 860	2 340 259
Казачинский	3 696,2	2 714,3	0	0	874 874	994 876,038	878 570	997 590
Канский	47 006,8	14 805,2	21 631	0	5 305 896	9 482 682,79	5 374 534	9 497 488
Каратузский	23 367,9	19 693,3	0	0	2 346 036	2 340 316,92	2 369 404	2 360 010
Кежемский	294 255,6	279 733,5	587 143	593137	393 568	0	1 274 967	872 870
Козульский	34 013,1	35 596	0	0	680 966	646 055,82	714 979	681 653
Краснотуранский	82 003	92 748,9	0	0	3 214 410	2 758 387,08	3 296 413	2 851 136
Курагинский	270 549,9	285 368,4	7 630	2 051,6	4 566 624	6 381 180,07	4 844 804	6 668 600
Манский	5 916,3	6 120,7	0	0	1 800 156	1839939,73	1 806 072	1 846 060
Минусинский	762 184,7	828 768,8	25 884	24 008	3 491 762	5 136 116,4	4 279 831	5 988 893
Мотыгинский	1 227	810	16 858	7 597,6	262 402	205 663	280 487	214 071
Назаровский	70 967,7	61 448,1	0	0	8 599 982	11 049 961	8 670 950	11 111 409
Нижнеингашский	32 730,4	35 317,1	0	0	1 336 670	1 350 233,09	1 369 400	1 385 550
Новоселовский	42 503,2	50 153,5	0	0	3 309 092	2 763 221,25	3 351 595	2 813 375
Партизанский	14 319,2	2 665,2	64	0	1 213 600	1 110 399,24	1 227 983	1 113 064
Пировский	1 152,6	710,2	0	0	838 620	709 290	839 772	710 000
Рыбинский	22 342,6	153 882,6	5 538	691 508	2 010 604	1 311 385,96	2 089 390	2 156 777
Саянский	4 102	20 834	0	0	1 741 468	1 533 116,97	1 745 570	1 553 951
Северо-Енисейский	17 650	21	61 136	10 3106	53 194	35 000	131 980	138 127
Сухобузимский	3 143,9	3 736,9	46 667	7 156	3 797 396	3 185 561,68	3 847 207	3 196 455
Тасеевский	16 379,4	20 495,4	0	0	1 605 878	1 484 458,6	1 622 257	1 504 954
Туруханский	709 324,6	937 025,6	16 214,7	15 986,7	167 130	0	892 669	953 012
Тюхтетский	1 269	1 491	0	0	1 201 922	953 044,216	1 203 191	954 535
Ужурский	13443	23 330,7	1 743	1 901	8 329 324	8 619 856,65	8 344 510	8 645 088
Уярский	45 387,7	51 049,2	0	0	1 887 456	1 779 419,79	1 932 844	1 830 469
Шарыповский	4 661 045	5 338 962,6	969 453	19 2584,8	4 169 506	113 904 577	9 800 004	119 436 126
Шушенский	225 063,4	270 819	0	212	4 064 458	52 739 850,4	4 289 521	53 010 881
Таймырский Долгано-Ненецкий	1 245 368	1 621 833,3	12 412,4	19 439,7	139 746	551,616 665	1397526	1 641 825
Эвенкийский	1 201 845	1 210 433,4	0	0	185 424	401 308,921	1 387 269	1 611 742

Таблица 2

ВМП муниципальных районов Красноярского края

Муниципальные районы Красноярского края	ВМП, тыс. руб.				Изменение	
	2008 г.	уд. вес, %	2009 г.	уд. вес, %	(+; –) тыс. руб.	%
Абанский	2 605 262	2,16	2 381 614	0,82	–223 647,6	91,42
Ачинский	1 198 560	1,00	1 425 323	0,49	226 763,42	118,92
Балахтинский	3 573 821	2,97	3 200 820	1,11	–373 001,5	89,56
Березовский	9 293 106,5	7,72	14 265 655	4,93	4 972 548,8	153,51
Бирилюсский	824 172	0,68	516 617	0,18	–307 554,9	62,68
Боготольский	1 540 726,8	1,28	1 427 327	0,49	–113 399,8	92,64
Богучанский	1 154 232,1	0,96	776 191	0,27	–378 040,6	67,25
Большемуртинский	1 831 973,9	1,52	1 732 614	0,60	–99 359,87	94,58
Большеулуйский	1 029 489,6	0,86	896 107	0,31	–133 383	87,04
Дзержинский	2 314 818	1,92	2 096 732	0,73	–218 085,5	90,58
Емельяновский	7 057 096	5,86	7 490 993	2,59	433 896,55	106,15
Енисейский	1 477 650,6	1,23	1 243 880	0,43	–233 770,9	84,18
Ермаковский	1 636 229,4	1,36	1 195 296	0,41	–440 933,7	73,05
Идринский	1 837 414	1,53	1 038 124	0,36	–799 290,4	56,50
Иланский	1 484 804,1	1,23	1 402 941	0,49	–81 863,59	94,49
Ирбейский	2 241 860	1,86	2 340 259	0,81	98 398,75	104,39
Казачинский	878 570,2	0,73	997 590	0,34	119 020,14	113,55
Канский	5 374 533,8	4,47	9 497 488	3,28	41 22 954,2	176,71
Каратузский	2 369 403,9	1,97	2 360 010	0,82	–9 393,676	99,60
Кежемский	1 274 966,6	1,06	872 871	0,30	–402 096,1	68,46
Козульский	714 979,1	0,59	681 652	0,24	–33 327,28	95,34
Краснотуранский	3 296 413	2,74	2 851 136	0,99	–445 277	86,49
Курагинский	4 844 803,9	4,03	6 668 600	2,31	1 823 796,2	137,64
Манский	1 806 072,3	1,50	1 846 060	0,64	39 988,133	102,21
Минусинский	4 279 830,7	3,56	5 988 893	2,07	1 709 062,5	139,93
Мотыгинский	280 487	0,23	214 071	0,07	–66 416,4	76,32
Назаровский	8 670 949,7	7,20	11 111 409	3,84	2 440 459,4	128,1
Нижнеингашский	1 369 400,4	1,14	1 385 550	0,48	16 149,794	101,1
Новоселовский	3 351 595,2	2,78	2 813 375	0,97	–538 220,5	83,94
Партизанский	1 227 983,2	1,02	1 113 064	0,38	–114 918,8	90,64
Пировский	839 772,6	0,70	710 000	0,25	–129 772,4	84,55
Рыбинский	2 089 390	1,74	2 156 777	0,75	67 386,558	103,23
Саянский	1 745 570	1,45	1 553 951	0,54	–191 619	89,02
Северо-Енисейский	131 980	0,11	138 127	0,05	6 147,4	104,66
Сухобузимский	3 847 206,9	3,20	3 196 455	1,11	–650 752,3	83,09
Тасеевский	1 622 257,4	1,35	1 504 954	0,52	–117 303,4	92,77
Туруханский	892 669,3	0,74	953 012	0,33	60 343	106,76
Тюхтетский	1 203 191	1,00	954 535	0,33	–248 655,8	79,33
Ужурский	8 344 510	6,93	8 645 088	2,99	300 578,35	103,6
Уярский	1 932 843,7	1,61	1 830 469	0,63	–102 374,7	94,70
Шарыповский	9 800 004	8,14	119 436 124	41,30	1 096 36120	121,87
Шушенский	4 289 521,4	3,56	53 010 881	18,33	48 721 360	123,58
Таймырский Долгано-Ненецкий	1 397 526	1,16	1 641 825	0,57	244 298,62	117,48
Эвенкийский	1 387 268,7	1,15	1 611 742	0,56	224 473,62	116,18
Всего	120 364 916	100	289 176 203	100	168 811 287	240,25

Анализ ВМП муниципальных районов Красноярского края выявил, что из 44 территорий Красноярского края наибольший вклад в суммарный ВМП региона в 2008 г. (40 %) внесли 5 районов – Березовский, Емельяновский, Канский, Ужурский, Шарыповский. В 2009 г. примерно 70 % от общего ВМП составили такие районы, как Березовский, Канский, Назаровский, Шушенский и Шарыповский, доля которого в ВМП составляет 41,3 %.

В 2009 г. удельный вес Шарыповского и Шушенского районов в ВРП значительно увеличился и составил 41,3 и 18,33 % соответственно. Удельный вес других муниципальных районов снижается.

Результаты проведенного анализа об объеме и структуре ВМП муниципальных районов Красноярского края позволяют выделить следующие их группы по уровню социально-экономического развития.

1. Муниципальные районы с высоким уровнем социально-экономического развития, темп роста ВМП которых свыше 110 %. К данной группе относятся районы, у которых увеличивается объем собственного производства продукции и услуг.

2. Развитые муниципальные районы, у которых незначительный рост ВМП (90–110 %), т. е. здесь наблюдается небольшая тенденция развития во всех сферах жизнедеятельности.

3. Районы с низким уровнем социально-экономического развития**,** которые не занимаются производством (70–100 %).

4. Депрессивные муниципальные районы с большим числом сельсоветов и деревень (менее 70 %), что

говорит о небольшом количестве жителей, слаборазвитой инфраструктуре, низком уровне жизни.

В системе мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований основным элементом является автоматизированная информационная система, которая является унифицированной для всех муниципальных образований и осуществляется по инициативе и в интересах субъекта Федерации. Результаты мониторинга используются для формирования прогноза социально-экономического развития края в целом и в территориальном разрезе, а также определяется, насколько эффективно осуществляется управление территориями, как реализуются региональные и федеральные программы, какие при этом происходят изменения в экономике и социальной сфере и какие издержки сопряжены с указанными процессами.

Внедрение в систему мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований показателя ВМП позволит повысить качество прогнозирования, планирования и распределения бюджетных средств на муниципальном уровне из фонда финансовой поддержки субъекта Федерации, а также позволит оперативно выявить социально-экономические проблемы и причины их возникновения. При системном применении в рамках мониторинга интегрального показателя «валовой муниципальный продукт» повысится достоверность определения совокупного объема налогооблагаемой базы и эффективность формирования предпринимательской среды, способствующей привлечению инвестиций в экономику муниципального образования.

Библиографические ссылки

1. Указ Президента РФ № 607 от 28 апреля 2008 г. // Рос. газ. 2008. 29 апр. С. 14.

2. Зотова В. Б. Системы муниципального управления. СПб. : Лидер, 2005. С. 3376–355.

3. Видяпина В. И., Степанова М. В. Региональная экономика. М. : Инфра-М, 2007. С. 572–606.

4. Байбусинов Ш. Валовой муниципальный продукт // Карелия. 2007. № 54.

5. Социально-экономическое положение муниципальных районов Красноярского края : сб. стат. материалов. Красноярск : Статистика, 2009. № 1–19.

N. T. Avramchikova, A. I. Frolova

ROLE AND IMPORTANCE OF AN INTEGRATED INDICATOR «GLOBAL MUNICIPAL PRODUCT» IN CARRYING OUT MONITORING OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF MUNICIPAL UNITS

In the article the subject matter of an integrated indicator «global municipal product» is considered and expediency of its use in monitoring, as generalizing indicator of estimation of level of social and economic development of a municipal unit, is proved.

Keywords: monitoring, municipal unit, social and economic development, global municipal product product, indicators of development.

© Аврамчикова Н. Т., Фролова А. И., 2012

УДК 332.1

Е. В. Белякова, С. Л. Парфенова

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В РЕГИОНЕ СЫРЬЕВОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Рассматриваются методические рекомендации по формированию стратегии развития машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности. Проводится апробация методики на примере машиностроительной отрасли Красноярского края.

Ключевые слова: методика формирования стратегии развития, машиностроительная отрасль, регион сырьевой направленности.

Результатом перестройки хозяйственного механизма в машиностроении стало снижение количества крупных предприятий, нарушение существовавших ранее хозяйственных связей, полное экономическое обособление предприятий, перенос всего спектра принимаемых решений на уровень предприятий. В результате большинство хозяйствующих субъектов и их структура в целом понесли значительные потери, связанные с рядом серьезных проблем: падение спроса на продукцию; разрыв связей с партнерами; недостаток оборотных средств; необходимость самостоятельного поиска нового места в деловой среде при отсутствии макроэкономических и отраслевых ориентиров. В этих условиях машиностроительные пред-

приятия нуждаются в серьезной теоретической и практической помощи при принятии управленческих решений, а специфика и отличительные особенности хозяйственной и административной среды субъектов РФ предопределяют необходимость избирательного подхода к развитию машиностроения.

Сырьевой уклад большинства сложившихся хозяйственных моделей северных и восточных территорий страны определяет доминирующую роль отраслей по добыче и первичной переработке природных ресурсов на длительную перспективу. Неопределенность технической политики таких регионов и ориентация на импортные технологии приводят к быстрой деградации существующей машиностроительной базы. С другой стороны, потенциал имеющихся машиностроительных предприятий, высокий инвестиционный потенциал сырьевых отраслей, заинтересованных в технико-технологическом обновлении собственного производства, и потребность в машинотехнической продукции организаций, обеспечивающих социальную инфраструктуру региона сырьевой направленности (жилищно-коммунальное хозяйство, энергетика, строительство и др.), позволяют создать условия для развития машиностроения.

Учитывая вышесказанное, возникает необходимость в разработке методики формирования стратегии развития машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности.

Анализ литературы по стратегическому менеджменту показывает, что мнения ученых о процессе формирования стратегии являются неоднозначными. Разные авторы предлагают различные подходы.

И. Ансофф выделяет следующую последовательность формулирования стратегии: внутренняя оценка фирмы; оценка внешних возможностей; формулировка целей и выбор задач; решение о портфельной стратегии; конкурентная стратегия; создание альтернативных проектов, их отбор и реализация [1].

По М. Мескону, процесс формирования стратегии состоит из девяти шагов: выработка миссии и целей организации; оценка и анализ внешней среды; управленческое обследование сильных и слабых сторон; анализ и выбор стратегических альтернатив; реализация и оценка стратегии [2].

С. Вутон и Т. Хорн рассматривают стратегию как «процесс выбора стратегического направления на основе выявления „расхождений“ между прогнозами и целями» [3].

А. Томпсон и Д. Стрикланд рассматривают процесс выбора и обоснования стратегии с точки зрения решения пяти задач: определение сферы деятельности и формулирование стратегических установок; постановка стратегических целей и задач для их выполнения; формулирование стратегии для достижения намеченных целей и результатов деятельности производства; реализация стратегического плана; оценка результатов деятельности и изменение плана и/или методов его исполнения [4].

Модель стратегического процесса В. Марковой и С. Кузнецовой состоит из четырех этапов: определение цели; анализ «пробелов», включающий оценку внешнего и внутреннего окружения; формулирование стратегии, с учетом рассмотрения альтернативных вариантов; реализация стратегии на основе составления планов и бюджетов [5].

О. Виханский процесс разработки стратегии рассматривает как динамическую совокупность пяти взаимоувязанных управленческих процессов: анализ среды; определение миссии и целей; выбор и выполнение стратегии; оценка и контроль реализации [6].

Таким образом, сопоставляя подходы этих и других авторов к определению содержательной стороны формирования стратегии можно констатировать, что, в основном, ученые придерживаются схемы выбора стратегии, включающей анализ внешних возможностей; определение сильных и слабых сторон предприятия; формулирование целей или направлений развития; выбор стратегических альтернатив; отбор альтернативных проектов реализации стратегии. При этом выбор стратегических альтернатив преимущественно осуществляется на основе рыночного подхода.

В процессе исследования рассматриваемой проблемы выявлены особенности развития машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности:

– нарастание организованности и относительной упорядоченности развития машиностроительной отрасли при условии сочетания отраслевого и регионального аспектов планирования;

– ориентация машиностроительного производства на решение проблем технико-технологической модернизации отраслей специализации региона сырьевой направленности;

– повышение эффективности использования потенциальных возможностей региона для развития конкурентоспособного машиностроительного производства;

– повышение эффективности хозяйственной деятельности машиностроительных предприятий на основе организации кооперационных поставок материальных и энергетических ресурсов внутри региона;

– переход на новый технологический уклад и ориентация на производство энерго- и ресурсосберегающей, а также экологически ориентированной машинотехнической продукции;

– ограниченность ресурсов и необходимость разработки новых технологий и оборудования по вторичной переработке отвалов.

На основе выделенных особенностей предлагается новый концептуальный подход к формированию стратегии развития машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности, отличием которого является то, что выбор стратегических альтернатив осуществляется на основе сопоставления рыночных потребностей в машинотехнической продукции в регионе и потенциальных возможностей, выявленных в результате анализа внутренних возможностей предприятий машиностроительной отрасли.

В целом процесс формирования стратегии развития представлен в виде трех этапов: подготовительный, аналитический и этап формирования стратегии развития (рис. 1).

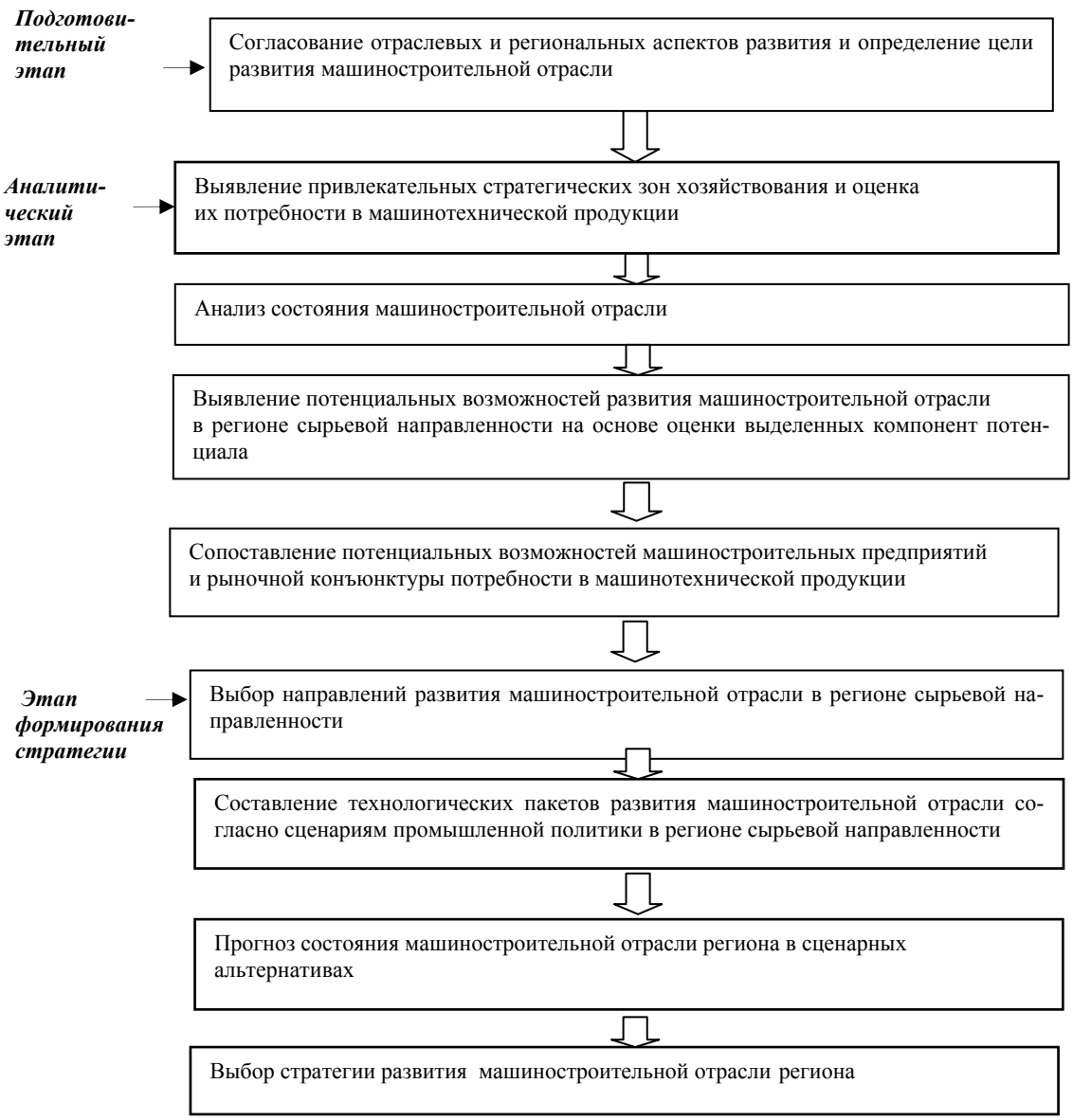


Рис. 1. Этапы методики формирования стратегии развития машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности

На подготовительном этапе согласовываются отраслевые и региональные аспекты развития и определяются цели развития машиностроительной отрасли.

На аналитическом этапе:

– на основе расчетов взвешенных оценок (табл. 1) осуществляется выбор приоритетных зон хозяйствования машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности и определяется их потребность в машинотехнической продукции;

– проводится анализ состояния машиностроительной отрасли, делается комплексная оценка;

– выявляются потенциальные возможности развития предприятий машиностроительной отрасли по отдельным компонентам потенциала (производственный, трудовой, ресурсный, инновационный и инвестиционный), которые учитывают достигнутый потенциал и потенциальные возможности предприятия (П1); достигнутый потенциал и потенциальные возможности предприятия и региона (П2); достигнутый потенциал, потенциальные возможности предприятия, региона и дополнительные инвестиции (П3).

На этапе формирования стратегии развития:

– выделяются направления развития машиностроительной отрасли на основе сопоставления потенциальных возможностей предприятий машиностроительной отрасли и требуемого потенциал (ТП), способного обеспечить производство машинотехнической продукции, востребованной в регионе (рис. 2);

– в рамках выбранных направлений, согласно сценариям промышленной политики в регионе, формируются технологические пакеты развития машиностроительной отрасли;

– делается прогноз состояния машиностроительной отрасли в сценарных альтернативах;

– на основе сценарно-стратегической матрицы осуществляется выбор стратегии развития машиностроительной отрасли.

Таблица 1

Оценка привлекательности стратегической зоны хозяйствования машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности

Показатели привлекательности	Вес показателя (А)	Оценка (В)	Взвешенная оценка отрасли
Темпы роста объема производства	A_1	B_1	$A_1 \cdot B_1$
Темпы роста инвестиций в машины и оборудование	A_2	B_2	$A_2 \cdot B_2$
…	…	…	…
Темпы роста инвестиций в машины и оборудование, связанные с инновациями	A_i	B_i	$A_i \cdot B_i$
Оценка привлекательности отрасли	1,00	–	$\sum A_i \cdot B_i$

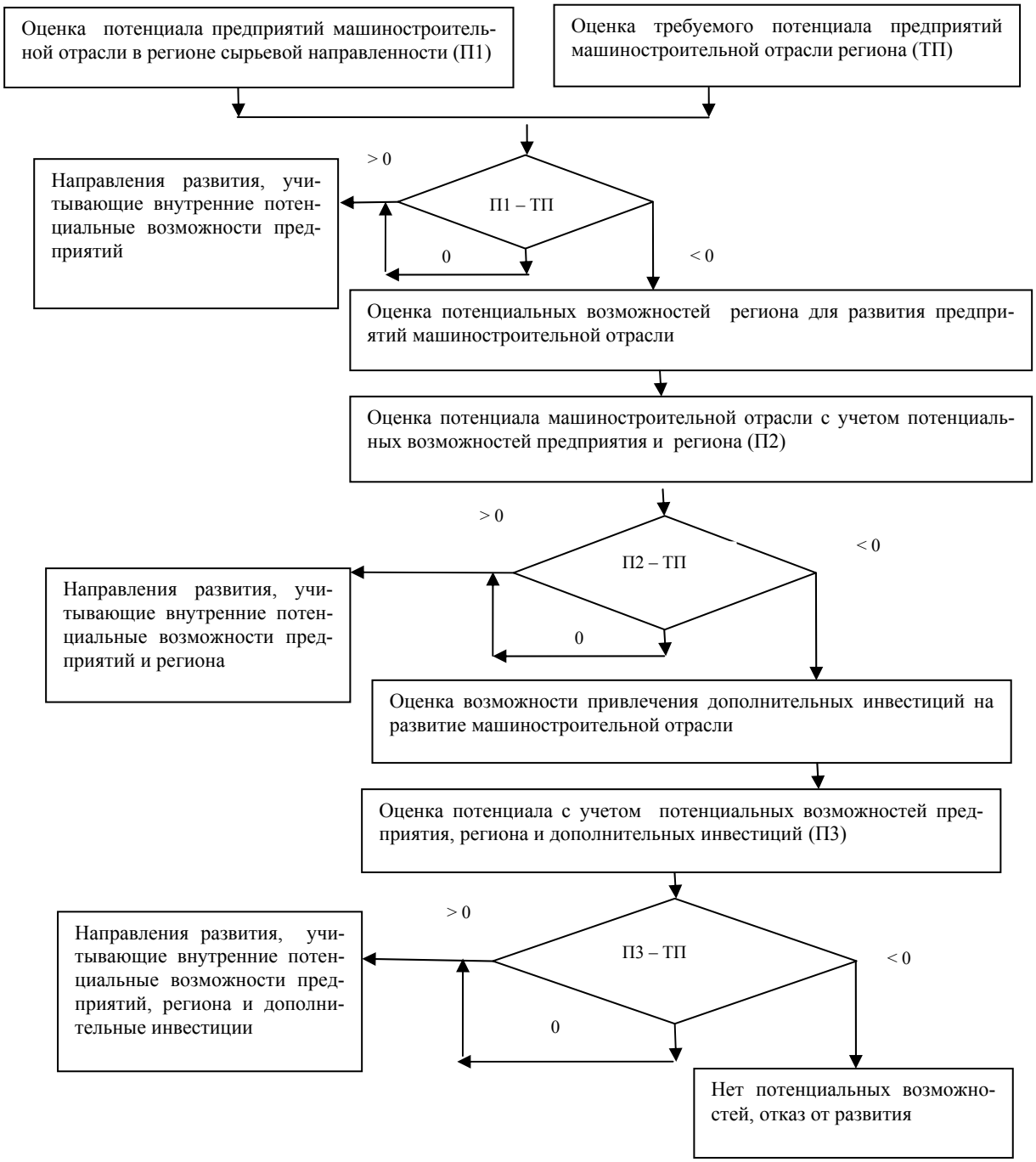


Рис. 2. Этапы методики выбора направлений развития предприятий машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности

Апробация методики формирования стратегии выполнена на примере машиностроительной отрасли Красноярского края.

Согласно Межрегиональной программе «Сибирское машиностроение» [7] и «Концепции развития промышленной политики Красноярского края на период до 2020 г.» [8], цель развития машиностроительной отрасли Красноярского края состоит в эффективном использовании производственного, трудового и инновационного потенциала машиностроительных предприятий и предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) региона для подъема экономики и повышения благосостояния населения.

Выделены основные стратегические зоны хозяйствования машиностроительной отрасли края, к которым относятся нефтедобывающая, горнодобывающая, металлургическая и лесная промышленности, энергетика и транспорт.

В исследовании проведена комплексная оценка состояния машиностроительной отрасли, и рассчитана величина интегрального индикатора за период с 2005 по 2009 гг. (рис. 3).

Величина интегрального индикатора приближается к уровню неустойчивого развития (рис. 3).

На основе сопоставления потенциальных возможностей машиностроительного производства и рыночных потребностей в машинотехнической продукции Красноярского края установлены направления развития машиностроительной отрасли, к которым относятся:

– использование потенциала предприятий ОПК для производства инновационной машиностроительной продукции, в том числе и на основе двойных технологий;

– удовлетворение потребности сырьевых отраслей в машинотехнической продукции, в том числе производство высокотехнологичных комплектующих и запасных частей для импортного оборудования;

– организация на основе межотраслевой кооперации с металлургическими комбинатами технологических комплексов с целью повышения глубины переработки ресурсов и производства продукции с высокой добавленной стоимостью;

– оказание инжиниринговых услуг по разработке оборудования, адаптированного под специфические природно-климатические и/или горно-геологические условия эксплуатации;

– развитие экологически ориентированного машиностроения.

Сценарии развития машиностроительной отрасли на основе промышленной политики Красноярского края на период до 2020 г. представлены в табл. 2.

На основе сценариев (табл. 2) составлены технологические пакеты развития машиностроительной отрасли.

Сделан прогноз состояния машиностроительной отрасли Красноярского края в сценарных альтернативах (рис. 4).

Рассчитаны параметры сценарно-стратегической матрицы на среднесрочный период 2012–2019 гг. и долгосрочный период 2020–2030 гг. (табл. 3).

Результаты расчета (табл. 3) показали, что в среднесрочный период (2012–2019 гг.) по экспортно-сырьевому сценарию наибольшая сила влияния (1,25) у стратегии концентрированного роста (усиление позиции на рынке, развитие рынка и продукта на уже освоенном рынке).

В долгосрочном периоде (2020–2030 гг.) по инновационному сценарию развития наибольшая сила влияния (1,1) у стратегии диверсифицированного роста (освоение новых рынков сбыта, развитие инновационных технологий и продуктов).

Таким образом, на основе анализа теоретических подходов разработана методика формирования стратегии развития машиностроительной отрасли, учитывающая особенности ее развития в регионе сырьевой направленности.

Апробация предложенных методических рекомендаций подтвердила их адекватность и практическую значимость.

Рис. 3. Динамика изменения состояния машиностроительной отрасли Красноярского края (2005–2009 гг.)

Таблица 2

Сценарии развития машиностроительной отрасли Красноярского края

Сценарии	Изменение структуры экономической системы	Уровень развития экономической системы	Гипотезы состояния машиностроительной отрасли Красноярского края
Инерционный сценарий	Сохранение доминирования сырьевого сектора. Минимальные инвестиции в развитие экономики	Утрата технологической конкурентоспособности. Полное обеспечение потребности в высокотехнологичных товарах за счет импорта	Безвозвратная потеря высокотехнологических секторов машиностроения гражданского назначения. Государственная поддержка предприятий ОПК
Энерго-сырьевой сценарий	Закрепление доминирования сырьевого сектора. Техническое переоснащение традиционных отраслей региона: сырьевые отрасли, энергетика и транспорт	Реализация конкурентного потенциала в традиционных отраслях. Преимущественное обеспечение потребности в высокотехнологичных товарах за счет импорта	Развитие машиностроительного сектора края, сопряженного с проектами в сырьевых отраслях, энергетике и на транспорте. Стагнация высокотехнологичных секторов машиностроительной отрасли края
Инновационный сценарий	Диверсификация экономики региона. Инвестирование высокотехнологичных отраслей экономики и стимулирование инновационной активности в регионе	Реализация конкурентного потенциала в традиционных отраслях. Развитие новых наукоемких технологий и производств Политика импортозамещения	Поэтапное технологическое перевооружение предприятий машиностроительной отрасли края. Интенсивное развитие высокотехнологичных секторов машиностроения. Выход на новые рынки с инновационной продукцией

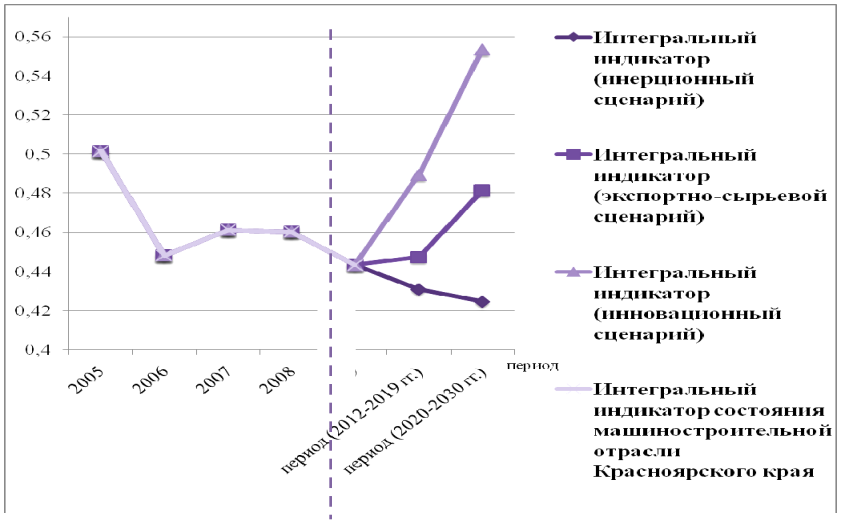


Рис. 4. Прогноз состояния машиностроительной отрасли Красноярского края в сценарных альтернативах

Таблица 3

Расчет параметров сценарно-стратегической матрицы

Показатели	Инерционный сценарий (№ 1)		Экспортно-сырьевой сценарий (№ 2)		Инновационный сценарий (№ 3)		Результат расчета	
	2012–2019 гг.	2020–2030 гг.	2012–2019 гг.	2020–2030 гг.	2012–2019 гг.	2020–2030 гг.	2012–2019 гг.	2020–2030 гг.
Вероятность наступления сценария	0,30	0,10	0,60	0,30	0,10	0,60		
Оценка состояния отрасли	0,43	0,42	0,45	0,48	0,49	0,55		
Вероятность достижения	0,13	0,04	**0,27**	0,14	0,05	**0,33**		
Сила влияния стратегии концентрированного роста	0	0	0,75	0,5	0,5	0,1	**1,25**	0,6
Сила влияния стратегии интегрированного роста	0	0	0,05	0,1	0,1	0,2	0,15	0,3
Сила влияния стратегии диверсифицированного роста	0	0	0,2	0,4	0,4	0,7	0,6	**1,1**

Библиографические ссылки

1. Ансофф И. Стратегическое управление. М. : Экономика, 1989.
2. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. М. : Дело, 1997.
3. Коробейников О. П., Колесов В. Ю. Стратегическое поведение: от разработки до реализации // Менеджмент в России и за рубежом. 2002. № 3. С. 88–129.
4. Томпсон А., Стрикленд А. Стратегический менеджмент. Концепции и ситуации для анализа. М. : Вильямс, 2006.
5. Маркова В. Д., Кузнецова С. А. Стратегический менеджмент. М. : Инфра-М, 2005.
6. Виханский О. С. Стратегическое управление : учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Гардарики, 2003.
7. Межрегиональная инновационная программа освоения высокотехнологичной гражданской продукции на предприятиях промышленного комплекса Сибирского федерального округа «Сибирское машиностроение» [Электронный ресурс]. URL: http://npsibmach.ru › main.php?id=53.
8. Концепция промышленной политики Красноярского края на период до 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.krskstate.ru.

E. V. Belyakova, S. L. Parfenova

METHODOLOGY OF FORMATION OF STRATEGY OF DEVELOPMENT OF MACHINE-BUILDING INDUSTRY IN A REGION OF RAW MATERIAL ORIENTATION

Methodical recommendations on formation of strategy of development of machine-building branch, in a region of raw material orientation, are considered. Technique approbation, on an example of machine-building branch of Krasnoyarsk region, is presented.

Keywords: technique of formation of strategy of development, machine-building branch, raw material orientation of a region.

© Белякова Е. В., Парфенова С. Л., 2012

УДК 338.14: 330.35

О. Б. Воейкова, А. А. Кузнецов

ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ РОССИЙСКОЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ В МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЫНОК НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ

Вовлечение отечественной высшей школы в мировое научно-образовательное пространство и в целом в мировой инновационный процесс требует своевременных решений по усилению инновационного потенциала российских вузов. Рассмотрены ключевые проблемы, встающие перед российской высшей школой на данном этапе ее развития.

Ключевые слова: российская высшая школа, инновационный университет, мировое научно-образовательное пространство, мировой инновационный процесс.

Одной из определяющих тенденций современного этапа развития мировой экономики является глобализация, как движение к созданию единого планетарного рынка товаров, капиталов и услуг, к экономическому сближению и объединению отдельных стран в единый мирохозяйственный комплекс. При этом открытие российской экономики делает частью мирового рынка не только соответствующие экономические системы, но и высшую школу, которая в условиях либерализации рынка образовательных услуг и научной продукции включается в процесс международной образовательной миграции, связанной с беспрепятственным перетеканием интеллектуальных ресурсов, научного и культурного потенциала, технологий обучения разных стран. Данный вид миграции можно рассматривать как один из факторов экономического роста, который активно используется такими мировыми лидерами по экспорту образовательных услуг, как США, Великобритания, Франция, Германия, причем общее число иностранных граждан – потребителей различных образовательных услуг ежегодно растет и составляет в настоящее время 5 млн чел. Россия в определенной мере участвовала в мировых образовательных процессах, но не столько в экспорте своих образовательных услуг, сколько в так называемой «академической мобильности», которая заключается главным образом в обмене студентами, преподавателями университетов с целью развития межкультурных коммуникаций. Львиная доля экспорта образовательных услуг со стороны российских вузов приходилась в основном на обучение студентов из сопредельных стран бывшего СССР и стран соцлагеря, но и эти

услуги можно было бы считать не столько коммерческой деятельностью, приносящей доход, сколько дружественной поддержкой и передачей культурных и образовательных традиций российской высшей школы [1].

В условиях глобализации высшая школа России имеет возможность успешного вхождения на мировые рынки образовательных и научно-инновационных услуг, лишь при условии собственной высокой конкурентоспособности. При этом уровень конкурентоспособности отечественных вузов в настоящее время зависит, главным образом, от степени их инновационности, поскольку в условиях глобализующейся инновационной экономики, основанной на знании, лидирующие позиции в конкурентной борьбе может занять только сильнейший инноватор. Таким образом, ключевая задача, стоящая перед российской высшей школой на этапе глобализации и либерализации международной торговли образовательными услугами и научно-инновационной продукции, заключается в раскрытии и повышении ее собственной инновационности.

Анализ материалов научных исследований, посвященных проблемам формирования инновационных университетов, а также исследование эволюционных и интеграционных аспектов их становления в России, позволил сделать вывод, что основополагающим принципом инновационного университета является принцип интеграции между образованием, наукой, производством, бизнесом, который направлен на получение и реализацию результатов фундаментальных и прикладных научных исследований [2].

Трансформация вуза в инновационный университет, предусматривающий единство учебной, научно-исследовательской, проектно-конструкторской и предпринимательской деятельности может осуществляться путем создания сложной интегрированной структуры, моделирование которой требует выбора особого методологического инструментария, основанного на синтезе теории интеграции, изучающей процессы длительного взаимодействия автономных организаций, создание соответствующих взаимосвязанных систем и управление ими с принципами системного подхода, позволяющего уйти от локального рассмотрения каждого из интегрируемых объектов и получить наиболее полное представление о формируемой системе (рис. 1). Совмещение интеграционного и системного подходов должно лежать в основе построения модели интегрированной структуры университета, предполагающей реализацию завершенного инновационно-технологического цикла. Такая модель опирается на единство взаимодействующих друг с другом внешних (в лице разнообразных общественных институтов, организаций, предприятий и пр.) и внутренних субординированных элементов, подсистем, направленное на осуществление поставленной цели и миссии моделируемого инновационного университета.

Стратегическая цель функционирования инновационного университета заключается в институционализации системы завершенного инновационного цикла, призванной обеспечивать генерацию, распространение и реализацию новых знаний и позволяющей осуществлять непрерывную профессиональную подготовку элитных специалистов, обладающих развитой культурой инновационного мышления для сопровождения инновационно-инвестиционных проектов и программ в соответствующей области науки и техники и по новым, перспективным направлениям развития.

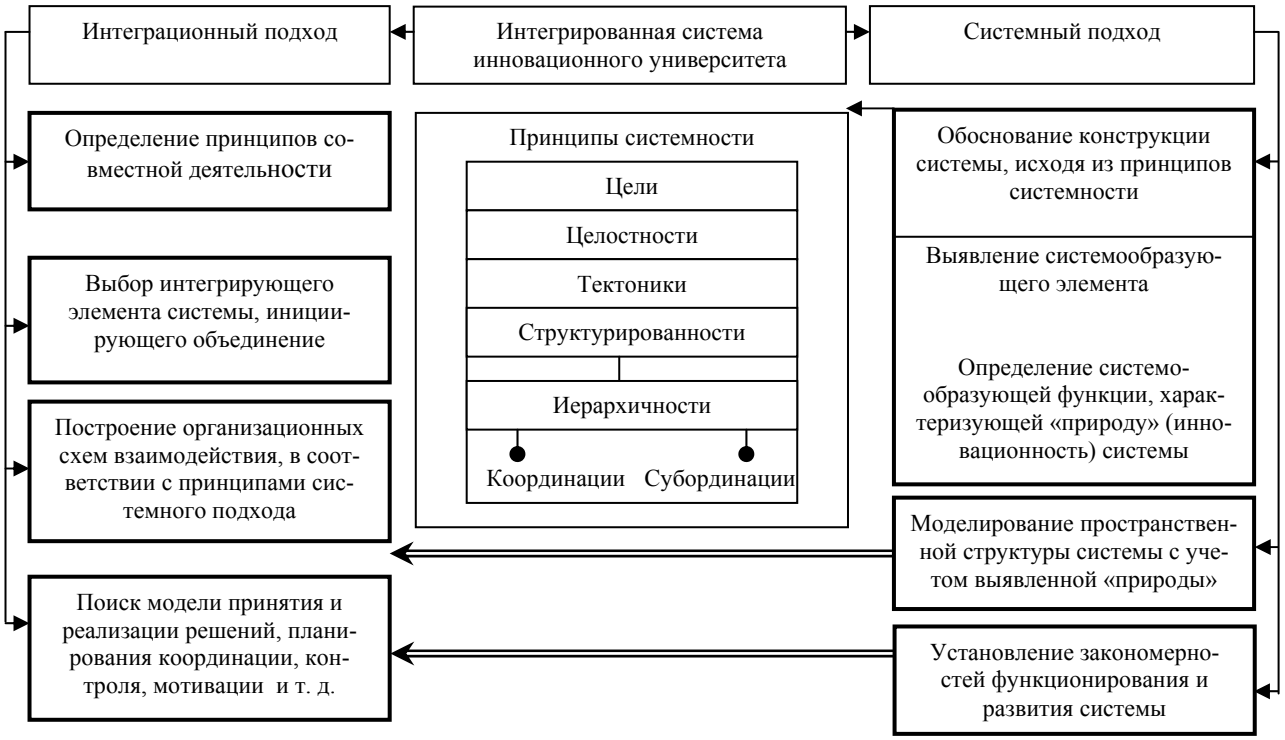


Рис. 1. Процедура моделирования интегрированной структуры завершенного инновационного цикла в университете

Выбранная цель функционирования инновационного университета позволяет принять за структурообразующую единицу моделируемой системы, задающую ее сущностные характеристики – научно-инновационный продукт, создаваемый в рамках интегрированной системы управления инновационной деятельностью университета. Под научно-инновационным продуктом в данном случае понимаются как объекты (новые товары, услуги, технологические процессы, объекты интеллектуальной собственности), системы (новые рынки, отрасли, бизнесы в виде субъектов хозяйствования), так и индивиды, выпускаемые интегрированным инновационным университетом для удовлетворения потребностей инновационного сегмента рынка труда.

В качестве системообразующей функции, обусловливающей взаимосвязь всех компонентов системы, могут быть определены отношения, возникающие при осуществлении инновационного процесса, направленного на циклическое воспроизводство инновационного продукта и связывающего между собой основные и обеспечивающие компоненты системы интегрированного инновационного университета.

Выявленные системообразующий элемент и системообразующая функция позволяют установить структурный состав инновационного университета, который включает три основных блока, участвующих в процессе воспроизводства инновационного продукта (рис. 2).

Учебный блок охватывает учебные подразделения вуза, организационное и методическое обеспечение, необходимые для осуществления многоуровневой, сопряженной с научными исследованиями, подготовки специалистов по приоритетным направлениям развития науки и техники. Учебный блок представляет своего рода производственную площадку по выпуску инновационной продукции, такой как высококвалифицированные рабочие кадры (рабочая аристократия), специалисты для инновационного рынка труда по малому воспроизводственному кругу, а также кадры высшей квалификации через магистратуру, аспирантуру и докторантуру по большому воспроизводственному кругу. Особенность производимой учебным блоком «продукции» состоит в том, что студент – не только продукция, но и участник образовательного и инновационного процессов, и потребитель других видов продукции инновационного университета.

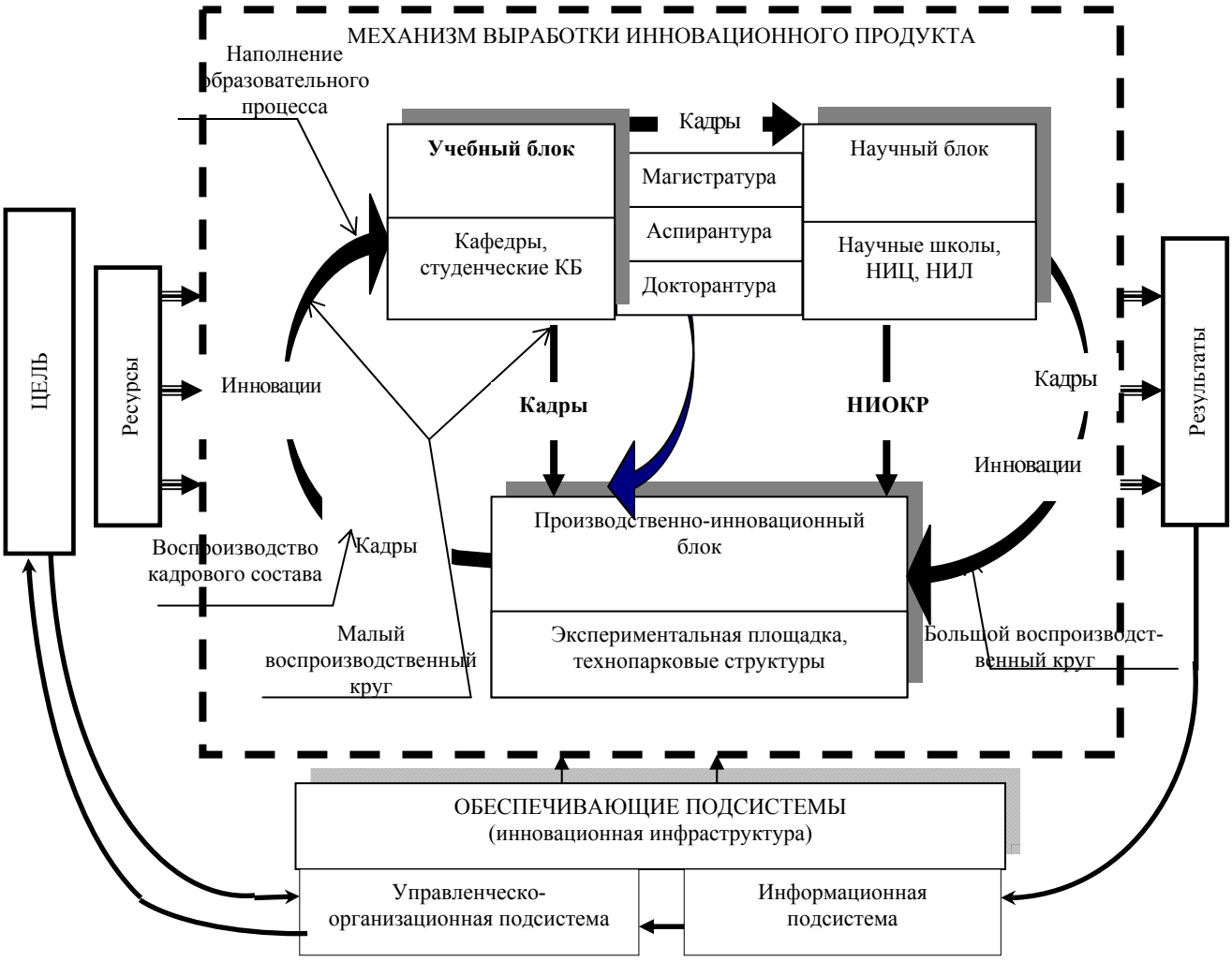


Рис. 2. Типовая модель инновационного университета

Научный блок, в состав которого входят разнообразные совместные с НИИ (академическими и отраслевыми) научные подразделения (научно-исследовательские лаборатории, научно-исследовательские центры, научно-исследовательские группы).

Производственно-инновационный блок, объединяющий различные формы технопарковых структур (таких как, инновационные центры, бизнес-инкубаторы, центры промышленных технологий и др.), в рамках которого происходит испытание и внедрение опытных образцов в промышленное производство.

Каждый из указанных блоков реализует свои функции через обеспечивающие подсистемы, которые являются функциональными составляющими инновационной инфраструктуры вуза. Среди них регулятивно-институциональная, информационная, финансово-инвестиционная, консалтинговая, кадрового обеспечения, социальная и др.

Функционирование интегрированного инновационного университета находится под постоянным воздействием совокупности внешних факторов на входе в систему, что требует адаптации механизма воспроизводства инновационного продукта к постоянно меняющимся условиям внешней среды. Основными внешними факторами, наиболее полно определяющими работу данного механизма, являются:

– реализуемая государственная научно-промышленная и инновационная политика;

– действующая нормативно-правовая база, регулирующая как инновационную, так и интеграционную деятельности;

– существующие возможности распространения нового знания, полученного в результате проводимых инновационных процессов;

– востребованность новых знаний со стороны реального сектора экономики.

В настоящее время, в условиях вхождения отечественной высшей школы в мировое образовательное пространство и, как следствие, ее интеграция в мировой инновационный процесс одним из основополагающих факторов внешней среды, определяющих деятельность российского инновационного университета, является высокая конкуренция со стороны зарубежных вузов. На глобальном научно-инновационном и образовательном рынках вузы стран-экспортеров образовательных и научно-инновационных услуг, являющиеся сильными «игроками», осуществляют свою деятельность, начиная с 60-х годов XX в. Их позиции подкреплены проработанной нормативной базой, расширяющей возможности (вступление в некоммерческие партнерства, работа на фондовых рынках и пр.), специальными вузовскими инфраструктурными подразделениями, обеспечивающими квалифицированную поддержку по организации экспорта образовательных услуг и передачи интеллектуальной собственности иностранным лицам (юридическим и физическим), накопленным опытом ведения деятельности в условиях рыночной среды.

Кроме того, иностранные вузы уже с середины прошлого века были достаточно активно включены в процесс формирования инновационной инфраструктуры, что было обусловлено формированием на базе этих вузов различных инновационных структур: научно-технических парков, бизнес-инкубаторов, технополисов, учебно-научно-инновационных комплексов и т. п. Одним из первых инициаторов подобной инновационной структуры стал Стэнфордский университет, инновации которого легли в основу будущей специализации Силиконовой долины (шт. Калифорния США) – крупнейшего на сегодняшний день центра микроэлектроники. В 1950 г. при университете был создан Промышленный парк, позже переименованный в Исследовательский парк. Создатели технопарка воспользовались близостью университета к базе ВВС США в Пало-Альто. Именно Калифорния во времена Второй мировой войны была важнейшим регионом промышленности США. В стенах университета был основан Стэнфордский исследовательский институт, сначала работавший на оборону. К работе в Стэнфорде, развивавшим электронную промышленность, привлекались ведущие ученые мира. После войны эта тенденция сохранилась, а запуск программ Национального агентства по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) в 1958 г. увеличил портфель правительственных заказов.

Широко известными примерами университетов такого рода в США являются Массачусетский технологический институт (штат Массачусетс), университет штата Техас в Остине, Ренселеровский политехнический институт в Трое (штат Нью-Йорк), университет штата Аризона в Фениксе и др.

В настоящее время американские университеты – это своеобразные интеллектуальные центры, в которых фундаментальные и прикладные исследования тесно связаны с подготовкой специалистов. Объемы государственной поддержки, проводимой здесь научно-исследовательской работы (вне зависимости от того, является ли заведение частным или государственным) значительно выше, чем в других странах, а степень рационального использования результатов интеллектуальной деятельности сотрудников самая высокая в мире. Университетские научно-исследовательские проекты получают финансовую поддержку от федерального правительства в форме грантов, контрактов, соглашений.

Успешный опыт США в развитии новых форм университетской деятельности сориентировал и другие страны идти тем же путем. Сведения о некоторых ведущих университетах мира, ориентированных на инновационное развитие, приведены в таблице.

Таким образом, в развитых странах Западной Европы, США и Японии именно университеты, имеющие ярко выраженную исследовательскую, инновационную направленность, становятся крупными научными центрами, концентрирующими вокруг себя быстро растущие инновационные предприятия, способствуя зарождению и развитию целых отраслей. В 2000 г. в США, например, насчитывалось около 260 таких учебных заведений, в Германии – 70, в Великобритании – 73, в Испании – 41 [3–5].

Ведущие университеты мира (инновационно-ориентированные вузы)

Страна	Университет	Инновационная организационная форма	Описание
США	Техасский университет	Остинский технологический инкубатор (ОТИ)	ОТИ создает инновационные компании, продукты и услуги. Среди его «выпускников» – компании Sematech, MCC. ОТИ стал учебной лабораторией предпринимательства для преподавателей и студентов, обеспечивая им возможность работать над проектами в начинающих компаниях – клиентах инкубатора
	Массачусетский технологический институт	Исследовательский парк	Ежегодный экономический эффект деятельности МТИ составляет 20 млрд долл. Выпускниками вуза основано 4000 компании, в которых работает более 1 млн чел. с годовым доходом около 230 млрд долл. Лидирует по количеству патентов ежегодно заключая около 70 договоров об авторских правах с частными компаниями
Германия	Фаххохшуле Аахен	Бизнес-инкубатор	Центр обучения, повышения квалификации, научно-исследовательских работ и трансферта технологий, (12 факультетов, 250 лабораторий, 8000 студентов, 240 профессоров). Соглашения о международном сотрудничестве, заключенные с более чем 100 вузами всех континентов. Особенно интенсивные кооперационные связи с Великобританией, Францией, Испанией, США, Китаем
	Мюнхенский университет	Исследовательский парк	Местный «Стэнфорд». Базируется на развитии микроэлектроники. Дал импульс к созданию и развитию более 4000 высокотехнологичных предприятий, что привело к формированию Германской «Силиконовой долины»
Япония	Университет г. Цукуба	Исследовательский университет	Учрежден в 1973 г., как университет нового типа, ориентированный на исследования. Соотношение числа студентов к числу магистрантов и докторантов составляет 3,5:1. Действуют 15 научно-исследовательских центров в области естественных наук. Учебные и исследовательские функции организационно разделены между колледжами и 26-ю НИИ, соответственно

Что касается российских вузов, то они сравнительно недавно начали участвовать как в процессах комплексирования, так и в рыночных процессах. В конце 90-х гг. XX в. сформировалась устойчивая тенденция к созданию в зависимости от типа вуза различных научно-инновационных структур, таких как учебно-научные (на базе классических университетов) и учебно-научно-производственные (инновационные) комплексы (на базе технических и технологических университетов), университетские образовательные округи (педагогические университеты) и предпринимательские университеты (экономические вузы). Стали формироваться университеты на базе Российской академии наук, например, Академический физико-технологический университет, созданный на базе Физико-технического института имени А. Ф. Иоффе в 2002 г.

Кроме того, благодаря утвержденному 2 августа 2009 г. Федеральному закону РФ № 217, стало возможным для бюджетных вузов и НИИ создавать на своей базе малые инновационные предприятия (МИП). А благодаря вступлению в силу Федерального закона № 83-ФЗ в начале 2011 г., позволившего всем бюджетным учреждениям создавать коммерческие предприятия в уведомительном, а не разрешительном порядке, российские вузы получили реальную возможность по осуществлению коммерческой деятельности. Однако слабая методическая и информационная поддержка вузам и МИП со стороны Рособразования обусловила возникновение большого количества неточностей и ошибок в действиях учебных заведений, в результате, с момента подписания федерального закона, треть малых предприятий при вузах существует лишь на бумаге. Так, экспертиза научно-образовательных учреждений на предмет соответствия 217-ФЗ показала, что из 1048 предприятий, внесенных в базу данных инновационных компаний при вузах и НИИ, реально подпадает под действие закона около трети из них [6].

Таким образом, подводя итог можно констатировать, что выход на международный рынок образовательных услуг и научно-инновационной продукции является сложным для российских вузов:

– во-первых, из-за их пока еще довольно слабой инфраструктурной инновационной составляющей, которая начала формироваться лишь в конце прошлого века, а государственную организационно-правовую поддержку получила только в 2011 г.;

– во-вторых, в силу отсутствия на данном этапе достаточных источников финансирования в лице различных кредитных учреждений, венчурных фондов, эндаумент-фондов и др.;

– в-третьих, из-за отсутствия реального опыта взаимодействия с различными институтами, регулирующими внешнеэкономическую деятельность, с такими как Федеральная служба технического и экспортного контроля Российской Федерации (ФСТЭК), а также таможенная служба;

– в-четвертых, из-за небольших размеров и узкой специализации большинства российских вузов, главным образом технических, которые на протяжении

длительного периода были тесно связаны с соответствующими профильными предприятиями.

Указанные недостатки требуют оперативного решения в предстоящий период с целью увеличения инновационного потенциала российской высшей школы, что позволит ей занять свою нишу на мировом рынке образовательных услуг и научно-инновационной продукции.

Библиографические ссылки

1. Лукьянова А. А., Воейкова О. Б. Российская высшая школа в условиях глобализации: проблемы и пути решения // Проблеми формування нової економіки XXI століття : материалы IV Міжнар. наук-практ. конф. (22–23 груд. 2011 р.) : у 8 т. Т. І. Виклики глобалізації та змїни парадигми економічного развитку. Днепропетровск, 2011. С. 68–74.

2. Воейкова О. Б. Инструменты формирования системы управления инновационной деятельностью в высшей школе : автореф. дис. … канд. экон. наук / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006.

3. Веревкин Л. П. Инновационная деятельность: исследовательские результаты, производство, рынок // Вестник РАН. 2003. Т. 73. № 2. С. 170–175.

4. Уиггинс Дж., Гибсон Д. Обзор инкубаторов США и опыта Остинского технологического инкубатора // Инновации. 2005. № 2 (79). С. 86–91.

5. Голованов А. В поисках «исследовательской» модели развития // Высшее образование в России. 2004. № 10. С. 63–68.

6. Колесников А. Н. Треть малых предприятий при вузах существует лишь на бумаге [Электронный ресурс] // Информационно-аналитический ресурс «Наука и технологии России». URL: http://www.strf.ru.

O. B. Voeykova, A. A. Kuznetcov

PROBLEMS OF RUSSIAN HIGHER SCHOOL INTEGRATION IN INTERNATIONAL MARKET OF SCIENTIFIC-INNOVATIVE PRODUCTION AND EDUCATIONAL SERVICES

The authors dwell upon the problems of Russian higher school integration into international market of scientific-educational services, which is so important at present for Russian higher school development. The authors reveal the key problems which higher schools in Russia have to face at this stage.

Keywords: Russian higher school, innovative university, international scientific and educational space, international innovative process.

© Воейкова О. Б., Кузнецов А. А., 2012

УДК 65.0(075)

Ю. В. Ерыгин, О. В. Зинина

ФОРМЫ И МЕТОДЫ ИНТЕГРАЦИИ ВУЗОВСКОЙ НАУКИ В НАЦИОНАЛЬНУЮ ИННОВАЦИОННУЮ СИСТЕМУ: МИРОВОЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ

Приведен анализ зарубежного опыта решения задач интеграции вузовской науки в процесс производства и национальную инновационную систему. Рассмотрена множественность организационных форм инновационной деятельности на государственном, региональном и других уровнях как основа управления процессом интеграции инноваций в производство.

Ключевые слова: инновации, вузовская наука, национальная инновационная система.

Одной из важнейших причин, тормозящих развитие инновационной составляющей российской экономики, является разрыв между наукой, высшим образованием и производством. Именно поэтому сегодняшним приоритетом государственной политики в области высшего профессионального образования является интеграция высшей школы, науки и наукоемкого производства. В Стратегии Российской Федерации в области развития науки и инноваций на период до 2015 г. интеграция обозначена как одно из ключевых направлений реформирования образования и государственного сектора науки, непременное условие создания конкурентоспособного сектора исследований и разработок. Объединение инновационного потенциала научного и образовательного комплексов в форме исследовательских и университетских комплексов, центров передовых исследований, технопарков, научно-технических и инновационных фирм и др. позволит повысить как эффективность научно-исследовательской деятельности, так и качество образования в высшей школе.

В Федеральном законе от 2 августа 2009 г. № 217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практиче-

ского применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» рассматривается вопрос интеграции вузовских инноваций в процесс производства. Кроме того, в соответствии с Федеральным законом «О федеральном бюджете на 2010 г. и на плановый период 2011 и 2012 гг.» в целях поддержки создания и развития малых инновационных компаний в 2010 г. на финансирование деятельности Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере запланировано свыше 2,4 млрд руб. Согласно перечню поручений Президента Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России от 4 января 2010 г. № Пр-22 предусматривается увеличение расходов на финансирование фонда в целях поддержки создания и развития малых инновационных компаний в рамках реализации утвержденных Комиссией приоритетных направлений и проектов модернизации и технологического развития до 3,4 млрд руб.

Реализация задач интеграции вузовской науки требует анализа содержания понятия «научная подсистема вуза», поскольку именно с ним связаны данные процессы. Это понятие определяется как совокупность научных подразделений вуза, наделенных соответствующими ресурсами и осуществляющих реализацию исследовательских проектов с целью получения новых знаний, инновационных продуктов, технологий и т. д. [1]. Часть научных продуктов носит фундаментальный характер, часть – учебно-познавательный, но в современных условиях особо востребованы наработки прикладного плана с возможностями их коммерциализации. Н. В. Атарщикова рассматривает определение интеграции вузовской науки в национальную инновационную систему в единстве внутреннего и внешнего аспектов: первый означает объединение всех видов ресурсов учреждения ВПО, создание комплекса необходимых предпосылок (финансово-экономических, организационно-кадровых, административно-правовых, инфраструктурно-институциональных и др.) для повышения инновационного потенциала вуза; второй предполагает углубление кооперационного взаимодействия вуза, его научной подсистемы с субъектами инновационной деятельности (государственными и местными органами, институтами гражданского общества, хозяйствующими субъектами, научными структурами, образовательными учреждениями, инновационной инфраструктурой). При этом и внутренние, и внешние процессы подчинены единой цели – трансферу нововведений, разработанных в научной подсистеме вузов, заинтересованным потребителям в рамках соответствующего уровня национальной инновационной системы. Объективные основы вышеописанных процессов, сопряженные с переходом социально-эконо-мического развития в инновационную фазу, предполагают новую роль учреждений высшего профессионального образования и превращение знаний в непосредственный двигатель экономики. На более конкретном, эмпирическом уровне движущей силой интеграции являются экономические интересы участников национальной инновационной системы. Так, стимулом к интеграции для учреждений высшего профессионального образования являются повышение качества подготовки и востребованности выпускников, а также возможность повышения эффективности научно-инновационной деятельности. Мотивом для академической науки становится привлечение дополнительных кадровых ресурсов к научной деятельности, а для хозяйствующих субъектов – новые сферы инвестиций, более высокая конкурентоспособность производимых товаров (услуг). Движущей силой интеграции научных организаций и вузов служит повышение качества и экономической эффективности совместной деятельности в научной, образовательной и инновационной сферах. Данная задача может быть реализована в результате объединения кадровых, интеллектуальных, материально-технических, информационных ресурсов на основе ассоциативного или договорного объединения партнеров. Для развития ассоциативных форм долгосрочного сотрудничества проекты должны содержать инфраструктурные компоненты, являющиеся системообразующей основой долгосрочной интеграции [2].

Реализация интеграционных процессов и управление ими требует разработки системы индикаторов:

– количество и качество новых учебных программ, обеспечивающих опережающую подготовку специалистов;

– масштабы применения новых наукоемких технологий в образовательном процессе (прежде всего, информационно-телекоммуникационного, дистанционного плана);

– уровень инновационной активности профессорско-преподавательского состава;

– степень развития кооперационных форм интеграционного взаимодействия вуза с участниками национальной инновационной системы;

– открытие корпоративных факультетов, базовых кафедр и т. д.;

– организация экспериментальных площадок на базе вуза для отработки и распространения инноваций в сфере образования, науки и производства.

Можно рассмотреть в качестве примера зарубежный опыт включения вузовской науки в национальную инновационную систему на примере американской модели высшего профессионального образования. В первую очередь рассматриваются исследовательские университеты, преимущества которых обусловлены, высокой степенью взаимопроникновения обучения и исследования на всех этапах образовательного процесса. В современных условиях исследовательские университеты в США реализуют крупные проекты, финансируемые из бюджета и различных фондов; имеют тесные связи с промышленными корпорациями; объединяют вокруг себя инфраструктурные комплексы и бизнес-инкубаторы. Наличие данной инфраструктуры позволяет осуществлять полный инновационный цикл – от фундаментальных исследо-

ваний до коммерческого продвижения инновационной продукции и технологий. Еще одним примером американского опыта интеграции науки в национальную инновационную систему являются так называемые фабрики мысли (think tanks) – специализированные организации, занимающиеся научно-исследовательской и аналитической деятельностью. Они существуют в США с 1940–50-х годов прошлого века и сегодня количество данных структур, являющихся своеобразными проводниками инновационных продуктов (новых технологий, прогнозов, идей и т. д.) от передовых специалистов-исследователей к органам власти и институтам гражданского общества, составляет несколько тысяч. Важным является следующее обстоятельство: рассматриваемые субъекты, сохраняя автономность от политических, финансовых и предпринимательских структур, представляют собой форму выражения общественного мнения в сфере проведения научных исследований, необходимых для обеспечения национальной безопасности.

Существуют и другие организационные формы, обеспечивающие процесс интеграции инноваций.

Региональный научно-технический центр представляет собой новую организационную форму инновационной деятельности, территориальное сообщество вновь созданных организаций, в основном обрабатывающей промышленности и производственных услуг, которое имеет общие административные здания, систему управления и консультирования. В ФРГ в настоящее время насчитывается несколько десятков таких центров, ведущими учредителями которых являются промышленно-торговые палаты, банки, частные фирмы, экономические союзы, университеты. Управление учредительским центром осуществляется в половине случаев коллективными органами (советами), в других случаях – управляющими.

Центр нововведений проводит совместные исследования с фирмами, обучение студентов основам нововведений, организует новые коммерческие компании. Инновационные проекты, осуществляемые в центре, представляют собой прикладные исследования с высокой вероятностью успеха, для которых затраты на предоставление технических и коммерческих консультаций не превышают 5 тыс. долл. Если же проект доведен до стадии, когда доказана целесообразность внедрения полученных результатов, он финансируется по программе, конечной целью которой является организация новой компании. Наряду с научно-технической помощью центр берет на себя финансирование новой компании на стадии ее становления, а также подбор управляющих.

Центр промышленной технологии имеет целью содействие внедрению нововведений в серийное производство. Это достигается путем проведения соответствующих экспертиз, научных исследований и оказания консультаций промышленным фирмам, особенно мелким, а также единичным изобретателям при освоении научно-технических нововведений. Промышленный двор представляет собой территориальное сообщество расположенных в одном комплексе зданий преимущественно мелких и средних организаций, управляемых головной фирмой. Инженерные центры при университетах создаются на базе крупных университетов (например в США) при финансовой поддержке правительства для стимулирования разработки новых технологий. Они выполняют две основные функции. Первая – направлена на исследование фундаментальных закономерностей, лежащих в основе инженерного проектирования принципиально новых, не существующих в природе искусственных систем. Такие исследования поставляют промышленности не готовую к внедрению разработку, а теорию в рамках определенной области инженерной деятельности, которая затем может быть применена для решения конкретных производственных задач. Другая функция имеет целью подготовку нового поколения инженеров, обладающих необходимым уровнем квалификации и широким научно-техническим кругозором. Опыт созданных инженерных центров показывает, что одним из наиболее действенных способов их укрепления является установление долговременных деловых контактов между сотрудниками центров и инженерами, работающими в промышленности. Финансирующие фирмы в обязательном порядке направляют в центры на постоянную или временную работу своих специалистов. Организационная структура центров предусматривает не только творческое сотрудничество инженеров непосредственно на каждом этапе работы, но и участие представителей бизнеса в управлении на всех уровнях.

Научный парк – новая форма сотрудничества промышленных фирм с университетами. Идея – промышленные компании создают близ университетов свои научно-исследовательские организации и предприятия, которые привлекают для работы над заказами фирм персонал университетов. В свою очередь, научные работники имеют возможность практически применять результаты своих исследований. Эта новая форма сотрудничества промышленности и науки позволяет создавать новые рабочие места.

Технологический парк – одна из наиболее распространенных в США и Западной Европе форм функционирования разработчиков новых технологий, с рискофирмами. В качестве образца технологического парка во многих странах принята модель научно-производственного центра, созданного на базе Стэнфордского университета в Калифорнии. Этот технологический парк сосредоточивает около 3000 средних и мелких электронных фирм с общим числом занятых 190–200 тыс. чел. [3]

В Японии недалеко от Токио на базе нового университетского центра возник целый научно-производственный городок Цукуба. В Западной Европе такие НПЦ имеются в Великобритании (Cambridge Phenomeri), Нидерландах (Markant) и ФРГ.

Среди большого многообразия отчетливо выделяются три главных пути возникновения технологиче-

ских парков. В качестве мелких и средних предпринимателей часто выступают сотрудники университетских и научно-исследовательских центров, стремящихся коммерциализировать результаты собственных научных разработок (в ряде технологических парков эта категория предпринимателей составляет более 50 %).

Создание собственных специализированных мелких фирм научно-техническим персоналом крупных промышленных объединений, покидающим свою фирму, чтобы открыть собственное дело (иногда совместно с коллегами по лаборатории или КБ). Как правило, крупные фирмы не препятствуют, а напротив, содействуют развитию этого процесса (широко известна подобная деятельность концерна Siemens), поскольку они получают возможность впоследствии подключаться к производству новейшей продукции, если она окажется перспективной.

И, наконец, мелкие и средние фирмы возникают в результате преобразования уже действующих предприятий, намеренных воспользоваться льготными условиями, существующими для технопарков в соответствии с государственным законодательством.

Например, в ФРГ технопарки возникают следующим образом: от 10 до 30 новых мелких предприятий размещаются на единой территории в зданиях, которые, как правило, предоставляются для этой цели по льготным арендным ставкам правительствами земель или органами городского самоуправления. Центрами технопарков служат хорошо оборудованные и обеспеченные квалифицированным персоналом бюро, в которых выполняются организационные, управленческие и секретарские функции для всех фирм, входящих в состав парка. В отдельных проектах в качестве важного условия предусматривается создание технопарка в непосредственной близости от университетов. Во всех без исключения проектах предпочтение отдастся недавно созданным предприятиям, специализирующимся в таких перспективных областях, как микроэлектроника и др.

Таким образом, возникают территориально замкнутые центры, где молодые предприятия ведут НИОКР, в результате которых создаются и доводятся до стадий практического использования новые товары или технологии.

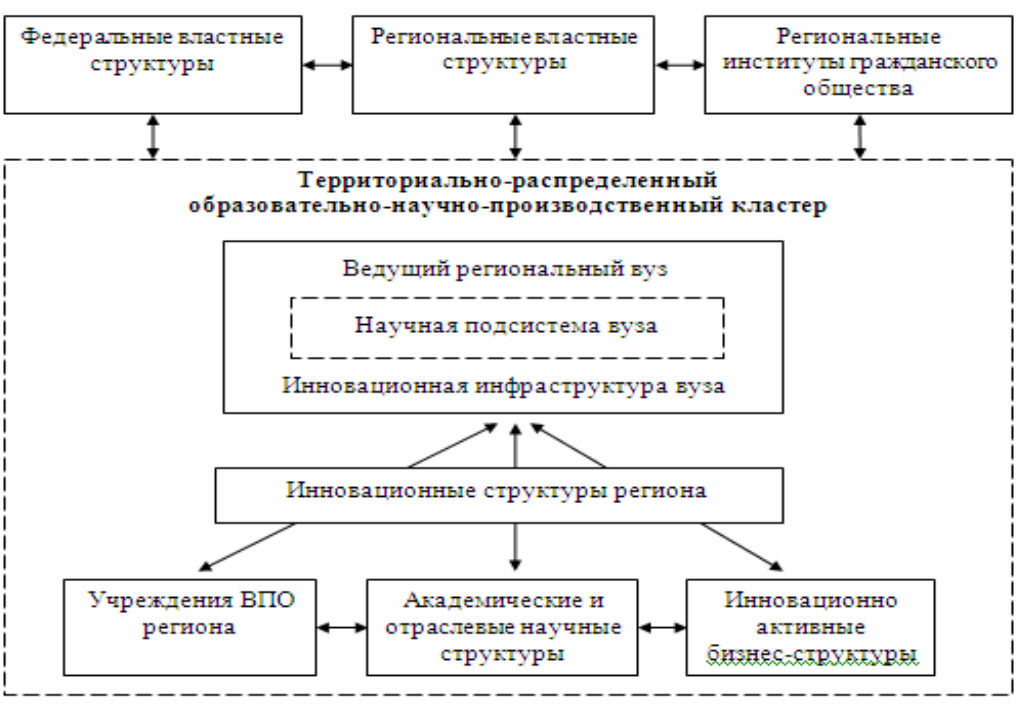
Длинный и трудный путь от разработки нового изделия до его серийного производства в условиях технопарка значительно облегчен. В частности, фирмам предоставляется на льготных условиях необходимое помещение, в их распоряжении имеются оборудованные всем необходимым конференц-залы, секретариаты, а также мастерские для изготовления прототипов, лаборатории и прочие помещения для ведения НИОКР. Они могут получить требуемую консультацию в области производства, маркетинга, финансов, патентную информацию. Устанавливается тесная кооперация с отделами фундаментальных и прикладных исследований при вузах, а также с находящимися в данном районе исследовательскими институтами, не говоря уже о связях с другими предприятиями того же технопарка. Кроме того, им предоставляются более выгодные условия кредитования, а также облегчаются контакты с крупными производственными фирмами в регионе и потенциальными заказчиками.

Технополис – наиболее продвинутая форма интеграции науки с производством. Технополисы в Японии были узаконены в 1980 г. В 1982 г. был опубликован список довольно жестких требований к соискателям (префектурам), удовлетворение которых дает им право создать у себя технополис («город техники»). Каждый технополис должен был состоять из трех основных компонентов: крупных предприятий как минимум 2–3-х самых передовых отраслей промышленности (производство оптических волокон, интегральных схем, медицинской электроники, информационных систем и др.); мощной группы государственных либо частных университетов, НИИ, лабораторий; жилой зоны с современными домами, развитой сетью дорог, школ, спортивных, торговых, культурных центров. Кроме того, технополис должен соседствовать с достаточно развитым городом с населением не менее 200 тыс. чел., а также с крупным аэропортом или железнодорожным узлом, откуда в течение одного дня можно совершить поездку в Токио и обратно. Управление экономической деятельностью технополиса находится полностью в руках местных органов власти.

Интеграция вузовской науки в производство в российских экономических условиях имеет свою специфику. Однако зарубежный опыт может активно использоваться в России, так как основополагающие факторы и условия взаимодействия науки, производства и вуза являются сходными (см. рисунок).

С момента появления законодательной базы, позволяющей открывать малые инновационные предприятия при вузах, у учебных заведений появляется возможность не только дать студентам дополнительную практическую деятельность, но открыть новые возможности получения прибыли для вуза в целом. Создание малого инновационного предприятия предусматривает более сложную схему, подразумевающую оформление юридического лица, а также оформление юридических отношений между вузом и предприятием, регулирующих финансовые потоки, а также процесс передачи интеллектуальных прав и сдачи в аренду материально-технической базы вуза [4].

Однако, чтобы проводить инновационную политику региона в целом, необходимо сформировать систему мониторинга инновационного потенциала организаций, в том числе высших учебных заведений, создать региональную систему поддержки и развития интеграции вузовской инновационной деятельности, а также совместно с федеральными учреждениями решать вопросы координации деятельности производственных организаций, занятых внедрением инноваций в регионе. При этом следует всемерно развивать инфраструктуру поддержки инновационной деятельности в регионе.



Структура территориально-распределенного образовательно-научно-производственного кластера как ядра региональной инновационной системы [5]

Анализ зарубежного опыта решения задач интеграции вузовской науки в процесс производства и национальную инновационную систему дает возможность сделать вывод о том, что множественность организационных форм инновационной деятельности на государственном, региональном и других уровнях является одной из особенностей управления процессом интеграции инноваций.

Однако данный процесс напрямую зависит от национальных особенностей экономики, организации финансовых потоков, системы высшего профессионального образования, ментальности людей и поэтому не может рассматриваться отдельно от конкретного региона.

Процесс адаптации форм и методов интеграции инноваций в процесс производства, используемых в различных странах мирового сообщества является на данный момент слабо изученным. Отсутствует конкретный механизм интеграции инноваций, применимый к российским условиям.

Библиографические ссылки

1. Атарщикова Н. В. Методика оценки эффективности инвестирования создания и деятельности малых предприятий при вузах // Сб. науч. статей конф. молодых ученых ВГПУ. Волгоград. 2010.

2. Атарщикова Н. В. Условия создания малых предприятий при вузах // Сб. науч. статей молодых ученых ВГПУ, 2010.

3. Васильев В. С. Американская политика в области науки // США и Канада: экономика – политика – культура. 2005. № 6. С. 3–22.

4. Рамазанов А. Интеллектуализация отношений собственности // Экономист. 2005. № 2. С. 57–61.

5. Атарщикова Н. В. Инвестирование создания и деятельности малых предприятий в вузах // Препринт. 2010.

Yu. V. Erygin, O. V. Zinina

FORMS AND METHODS OF INTEGRATION-SCHOOL OF SCIENCE IN NATIONAL INNOVATION SYSTEM: WORLD AND RUSSIAN EXPERIENCE

The authors present analyses of foreign experience of integration of University science in the production process and national innovation system. Multiplicity of organizational forms of innovation, at the national, regional and other levels, as a basis for the integration of innovations into production, is considered.

Keywords: innovations, University science, innovative system.

© Ерыгин Ю. В., Зинина О. В., 2012

УДК 338.2

Т. В. Зеленская, А. А. Портнова

ПРОБЛЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ: РАЗРАБОТКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ДОЛГОСРОЧНОЙ ПРОГРАММЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦОННОГО СЦЕНАРИЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Приводится анализ федерального и регионального (на примере Красноярского края) законодательства в части вопросов разработки и реализации органами местного самоуправления комплексных программ социально-экономического развития. Посредством анализа опыта муниципального образования – городского округа Красноярска по формированию программы социально-экономического развития города до 2020 г. авторами предлагаются: механизм включения в процесс разработки программы биснес-структур и экспертного сообщества через создание отраслевых экспертных советов; установление взаимосвязи технологий стратегического планирования и муниципальной финансовой политики посредством внедрения программно-целевого подхода и инструмента ДРОНД. Приводятся результаты анализа среднего уровня отклонений в запланированных параметрах социально-экономического развития муниципального образования на основе применения индикативного подхода к оценке возможных рисков социально-экономического развития.

Ключевые слова: стратегическое планирование, социально-экономическое развитие, отраслевые экспертные советы, целевые ориентиры, сценарное планирование, индикативный подход к измерению рисков.

Стратегическое планирование – составная часть всей системы управления. Это особый вид управленческой деятельности, который заключается в разработке стратегических решений, предусматривающих выдвижение таких целей и стратегий поведения объектов управления, реализация которых обеспечивает их эффективное функционирование в долгосрочной перспективе и адаптацию к изменяющимся особенностям внешней среды.

Ст. 17 Федерального закона № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» к полномочиям органов местного самоуправления по решению вопросов местного значения отнесено принятие и организация выполнения планов и программ комплексного социально-экономического развития муниципального образования. Учитывая, что деятельность публичной власти направлена на благо людей, главная цель программ социально-экономического развития муниципалитетов – повышение качества жизни населения.

На сегодняшний день основные понятия и, особенно, методология стратегического планирования развития муниципальных образований не достаточно полно определены нормативно-правовой базой федерального и регионального уровня.

Так, Федеральный закон № 115-ФЗ «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации» в общих принципах определяет возможности использования этого института развития, дает определение терминам «программа» и «концепция» и выделяет этапы кратко-, средне- и долгосрочного планирования.

Из вышеуказанного документа следует, что концепция социально-экономического развития – это система представлений о стратегических целях, приоритетах и важнейших направлениях социально-экономической политики, а также средствах реализации указанных целей. В то время программа развития считается комплексной системой целевых ориентиров социально-экономического развития и средств достижения указанных ориентиров, включая комплекс социально-экономических, организационно-хозяйственных, финансовых мер, увязанных по ресурсам, исполнителям и срокам [1].

Приказом Минрегиона РФ № 14 «Об утверждении требований к стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации» необходимый понятийный аппарат дополнен определением термина «стратегия», но только применительно к документам долгосрочного планирования развития субъекта Российской Федерации.

Региональное законодательство устанавливает более четко очерченные рамки методологии стратегического планирования для муниципальных образований. Так, постановлением Правительства Красноярского края от 19 апреля 2011 г. № 204-п «О порядке взаимодействия органов исполнительной власти края и органов местного самоуправления в процессе планирования социально-экономического развития Красноярского края» дано определение понятия «комплексная программа социально-экономического развития муниципального района, городского округа», установлено требование обязательности процедуры согласования проекта муниципальной программы с органами исполнительной власти края с точки зрения соответствия типовому макету программы и с точки зрения соответствия краевым целевым программам в отношении целей, задач, целевых ориентиров, сроков реализации мероприятий, объемов и источников их финансирования.

Этим же постановлением органам местного самоуправления городских округов и муниципальных районов рекомендован единый Типовой макет комплексной программы социально-экономического развития муниципального образования Красноярского края [2]. Данный макет разработан на основе требований Типового макета программы социально-экономического развития муниципального образования Сибирского

федерального округа [3]. Поскольку в данной сфере пока нет общепризнанных методик, разработка единого Типового макета в Сибирском федеральном округе свидетельствует о назревшей необходимости перехода к единой методологической основе для разработки документов стратегического планирования развития муниципальных образований. А законодательно вмененная обязательность применения единого макета на территории Красноярского края гарантирует возможность проведения сравнительного анализа достижений муниципальных образований одного субъекта РФ на основе однородных документов стратегического планирования.

Этим же постановлением определено, что порядок разработки, утверждения и корректировки муниципальной программы определяется органами местного самоуправления [2]. При этом не установлено требование обязательности процедуры публичных слушаний для муниципальной программы как документа стратегического планирования, отсутствуют рекомендации в части механизмов взаимодействия органов местного самоуправления и иных необходимых участников муниципального планирования стратегического развития территории (бизнеса, экспертного сообщества), а также механизмов синхронизации стратегии развития муниципалитета со стратегиями муниципальных образований – соседей на территории самого субъекта Российской Федерации – Красноярского края, и с федеральными отраслевыми стратегиями крупных госкорпораций, филиалы которых находятся на территории муниципального образования (таких, как РАО «ЕЭС России», ОАО «РЖД»).

Кроме того, в процессе согласования проектов комплексных программ социально-экономического развития муниципалитетов, мероприятия проектов программ, предлагаемые к финансированию с использованием средств краевого бюджета в годы, выходящие за период планирования краевых целевых программ, должны согласовываться в соответствии со стратегией развития отраслей и прогнозируемыми возможностями бюджета. Учитывая, что на сегодняшний день Красноярский край не имеет стратегического документа социально-экономического развития региона и отраслевых стратегий развития на долгосрочный период, согласование возможно только в рамках лимитов, доведенных до главных распорядителей бюджетных средств министерством финансов Красноярского края и, соответственно, согласование проектов муниципальных программ ограничивается трехлетним бюджетным периодом.

Таким образом, несмотря на кажущуюся законодательную и теоретическую определенность, на практике орган местного самоуправления, как основной разработчик, а впоследствии, после принятия проекта представительным органом власти, и основной ответственный за реализацию программы, сталкивается с большим количеством вышеобозначенных затруднений. Как же на практике муниципалитет может решать проблемы обеспечения организации стратегического планирования? Предлагается рассмотреть опыт города Красноярска в части разработки Программы социально-экономического развития города до 2020 г.

Вопросами стратегического планирования Красноярск занялся в 2000 г. В мае 2001 г. решением Красноярского городского совета были утверждены «Основные направления социально-экономического развития Красноярска на период до 2005 г.». Город обрел публичную стратегию развития, а программный подход позволил двигаться целенаправленно. В марте 2005 г. утверждена Программа социально-экономического развития города Красноярска на период до 2010 г. Кризисный 2009 г. повлиял на снижение ряда планируемых показателей (не выполнен план по строительству и вводу объектов социальной сферы, превышен планируемый уровень безработицы), но в целом большинство мероприятий программы были выполнены [4].

Необходимость актуализации стратегии развития города связана с изменением экономических условий в посткризисный период, с проектом создания Красноярской Агломерации и возникшими в связи с этим новыми требованиями к социально-экономическому потенциалу Красноярска – одному из крупнейших индустриальных и административных центров Сибири.

Красноярск сегодня – информационный и фактический центр управления пространственного размещения, обслуживания и функционирования производительных сил Красноярского края и приграничных территорий в зоне влияния крупных корпораций. Город является полюсом притяжения трудовых ресурсов, культурным, научно-образовательным, инновационным центром Красноярского края. Его удельный вес в объеме инвестиций в основной капитал по Красноярскому краю в 2010 г. составил 24,8 %, во вводе жилья – 63,3 %, в розничном товарообороте – 58,4 %, в предоставлении услуг населению – 64,8 % [5]. Это свидетельствует о том, что роль Красноярска в обеспечении функционирования экономики края и обслуживании населения весьма значительна. Следовательно, приоритеты стратегического развития городка должны были быть органично вписаны в систему приоритетов развития края и Сибири.

Работа над проектом Программы социально-экономического развития города до 2020 г. (далее – Программа) была начата в 2009 г. Проект учитывает иерархию стратегических целей и приоритетов Концепции долгосрочного развития России до 2020 г., обновленной Стратегии развития Сибири до 2020 г. и проекта Стратегии развития Красноярской агломерации.

Как уже упоминалось ранее, в сфере стратегического планирования развития муниципальных образований пока нет общепризнанных методик. Поэтому Красноярск принял собственное положение о системе стратегического планирования, не противоречащее региональному законодательству и дополняющее его в части определения необходимых элементов системы. В целях регламентации механизма разработки и реализации Программы принято постановление Главы города от 02.02.2009 № 18 «О процессах формирова-

ния и реализации комплексной программы социально-экономического развития города Красноярска на долгосрочный период», которым утверждены:

– Положение о порядке разработки, принятия и реализации комплексной программы социально-экономического развития города Красноярска;

– состав Программного совета по социально-экономическому развитию города Красноярска;

– контрольные показатели реализации Программы, используемые для мониторинга и оценки эффективности реализации [6].

Положение о порядке разработки, принятия и реализации комплексной программы определило содержание, порядок разработки, согласования, утверждения, реализации и корректировки Программы, а также порядок (механизм) взаимодействия органов местного самоуправления и иных участников муниципального планирования и управления (см. рисунок).

Уже на первоначальном этапе разработки проекта Программы возникли вопросы: кто должен определить те самые приоритетные функции, выполнение которых в заданной перспективе обеспечит территории эффект развития? Как обеспечить реальное, а не формальное, привлечение к разработке программы населения, бизнеса и экспертного сообщества?

В механизм разработки и реализации Программы был изначально заложен учет разнонаправленных интересов населения, власти и бизнеса при разработке, принятии и реализации бизнес-проектов или планов развития, обеспеченный широким публичным обсуждением проекта Программы, информационной открытостью процесса реализации и мониторинга выполнения мероприятий программы.

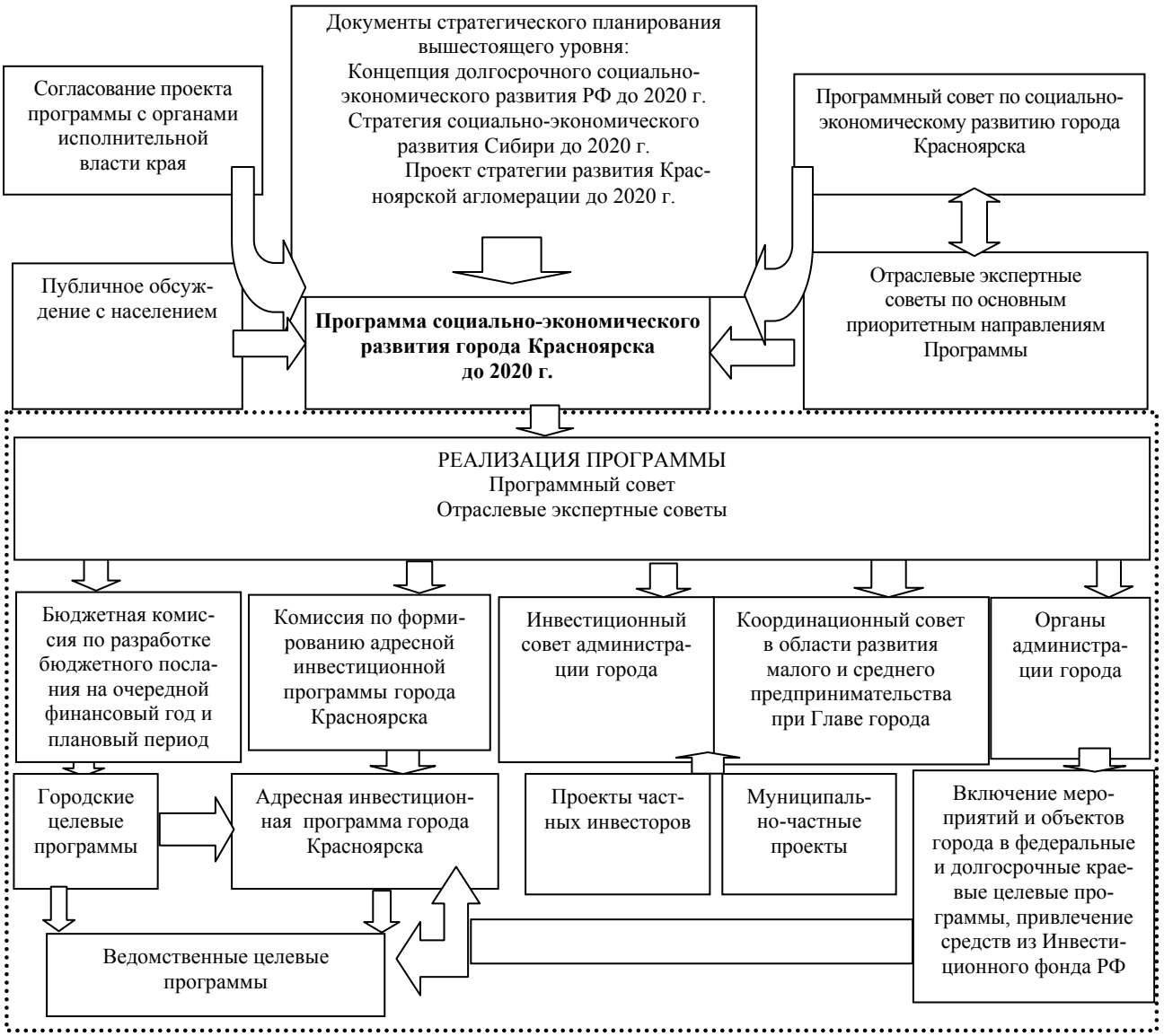
Так как одним из основных принципов формирования Программы была выбрана максимальная информационная открытость, стимулирующая вовлечение в процесс обсуждения проекта как можно большего числа представителей различных социальных групп населения, политических и профессиональных объединений, то с мая по октябрь 2010 г. был разработан и реализован специальный план публичных обсуждений проекта. Проект обсуждался в СМИ, был размещен на официальном сайте и в газете «Городские новости», организовано анкетирование жителей города и экспертного сообщества, проведены встречи с населением и директорами крупных предприятий в каждом районе города и, как завершающее мероприятие – публичные слушания проекта Программы. В процессе обсуждений принято от красноярцев более 150 предложений, основная часть которых касалась вопросов строительства и реконструкции учреждений образования, здравоохранения, благоустройства города, строительства и содержания дорог. Большая часть предложений учтены в проекте программы.

Кроме того, был предложен новый эффективный механизм включения профессионального и экспертного сообщества в процесс не только обсуждения, но и разработки программы. Положением о порядке разработки, принятия и реализации комплексной программы предусмотрено обязательное создание при всех органах администрации города, задействованных в разработке отраслевых разделов проекта Программы, отраслевых эксперных советов. Члены отраслевых экспертных советов избираются с соблюдением представительства в каждом совете экспертов от науки, бизнеса, администрации города и городской общественности [6]. Таким образом было создано 9 отраслевых экспертных советов по основным приоритетным направлениям Программы: образование, здравоохранение, культура, спорт, общественная безопасность и ГО и ЧС, архитектура и градостроительство, ЖКХ, экология, транспорт. Функционал отраслевого экспертного совета по приоритетам экономического блока Программы был возложен на постоянно действующие органы – Координационный совет в области развития малого и среднего предпринимательства при Главе города и Инвестиционный совет администрации города. Основное назначение отраслевых эксперных советов – разработка отраслевых разделов проекта Программы, включающая анализ и постановку существующих проблем в конкретной сфере городской жизнедеятельности, определение приоритетов и направлений развития, разработка предложений по мероприятиям, механизмам реализации, а также участие в формировании предложений в отраслевые городские целевые программы.

Таким образом, заявленные приоритеты и механизмы их достижения были согласованы с отраслевыми экспертными сообществами, представители которых вошли в состав специально созданных экспертных советов. А инвестиционные проекты, включаемые в программу развития, прошли процедуру рассмотрения Инвестиционным советом администрации города и Координационным советом в области развития малого и среднего предпринимательства при Главе города Красноярска, что можно рассматривать как предынвестиционную и предменеджментовую процедуру принятия решения по реализации конкретного проекта.

Ни одна программа не может существовать обособленно, без логического продолжения, которым обычно становятся соответствующие прикладные документы. Если концепция или стратегия – это прогнозно-аналитические документы, то программа – уже прогнозно-проектный, реализующий концепцию и содержащий совокупность увязанных по ресурсам, исполнителям и срокам реализации мероприятий, которые направлены на достижение стратегического выбора территории.

Именно здесь бюджетно-экономическая составляющая выходит на первый план. Однако на практике одни мероприятия осуществляются через национальные проекты, федеральные и краевые целевые программы, другие – через городские целевые программы, третьи – через механизмы привлечения частных инвесторов. Смысл стратегических документов в том, чтобы изменить сложившуюся ситуацию и сформировать именно целостное видение имеющихся ресурсов. Необходима взаимоувязка технологий стратегического планирования социально-экономического развития муниципального образования и муниципальной финансовой политики.



Формирование и реализация Программы СЭР г. Красноярска до 2020 г.

В Программе социально-экономического развития города Красноярска до 2020 г. сформирована система программных мероприятий, определены объемы, источники финансирования и целевые ориентиры выполнения программных мероприятий; выявлен комплекс приоритетных инвестиционных проектов, намеченных к реализации на территории города, в том числе перечень объектов капитального строительства [7].

На сегодняшний день финансирование мероприятий Программы осуществляется посредством программно-целевого подхода, учитывающего как долгосрочное планирование (саму комплексную Программу социального экономического развития города Красноярска до 2020 г. и отдельные стратегические программы развития отраслей), так и среднесрочное планирование (городские целевые программы) и трехлетнее бюджетное планирование (адресная инвестиционная программа, 11 ведомственных целевых программ).

При этом стратегические программы развития отраслей должны жестко соответствовать приоритетам комплексной программы социально-экономического развития города, а в идеале, являться ее составными частями, а не отдельными документами. А охват программно-целевым походом к финансированию бюджетов отраслей в перспективе должен возрастать. Так, если в 2011 г. в Красноярске действуют 24 городские целевые программы, то к 2013 г. с учетом передачи полномочий по текущему содержанию учреждений здравоохранения, количество ГЦП может возрасти до 27. Охват программно-целевым походом к финансированию бюджетов отраслей возрастет с 87 % в 2011 г. до 97 %.

При этом, по мнению авторов статьи, при определении объемов финансирования программных мероприятий совершенно не обязательно жесткое требование по расчетам сбалансированности основных параметров собственных доходов и расходов бюджета муниципального образования на долгосрочную пер-

спективу и учета в Программе текущих расходов. В долгосрочном периоде (10 и более лет) должны быть определены отраслевые приоритеты, перечни объектов капитального строительства, а корректировка по годам возможна в результате бюджетного процесса.

Как уже ранее отмечалось, стратегический выбор подразумевает необходимость формулирования целей и приоритетов развития, а также методов качественного и количественного измерения их достижения. В Программе социального экономического развития города Красноярска до 2020 г. присутствуют не только качественные, но и количественные цели.

Учитывая планируемый с 2013 г. переход от действующей системы ведомственных целевых программ к формированию системы муниципальных программ города и внедрению инструмента ДРОНД (докладов о результатах и основных направлениях деятельности), во всех органах местного самоуправления вне зависимости от реализации ими муниципальных программ был разработан и включен в Программу перечень целевых ориентиров – отраслевых индикаторов реализации мероприятий по заявленным приоритетам Программы на среднесрочный период (до 2015 г.). Всего в программе определено 154 целевых индикатора [7].

При этом перечень целевых ориентиров и порядок мониторинга и отчетности о реализации Программы установлены с учетом системы оценки эффективности деятельности органов администрации города в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 28.04.2008 № 607 «Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов», распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.09.2008 № 1313-р «О реализации Указа Президента Российской Федерации от 28.04.2008 № 607». Таким образом, степень достижения целевого ориентира показывает не только степень реализации того или иного мероприятия по заявленным приоритетам Программы, но и степень эффективности деятельности органов администрации города Красноярска.

Программа социально-экономического развития города Красноярска до 2020 г. предусматривает два сценария: инерционный и целевой (инфраструктурный). Сценарии отличаются, прежде всего, интенсивностью реализации инвестиционных проектов. Базовым сценарием выбран инфраструктурный. В качестве критерия выбора применена доля объема капитальных вложений на создание инженерной, транспортной, социальной инфраструктуры и инфраструктуры поддержки предпринимательства по отношению к собственным доходам бюджета города: 16 % в среднем до 2015 г. и 18 % в среднем до 2020 г. При этом ежегодный дрейф между инерционным и инфраструктурным сценариями составляет 4–5 % [7].

Безусловно, дрейф запланированных количественных показателей всегда существует. Он обусловлен как сложностью анализа, так и серьезностью протекающих макроэкономических изменений. Это необходимо прогнозировать и учитывать в стратегических документах с целью минимизации рисков их выполнения.

Категория «риска» применительно к управлению развитием муниципальных экономических систем может быть рассмотрена как опасность потенциально вероятной потери ресурсов или недополучения доходов по сравнению с вариантом, который рассчитан на планируемое использование всех видов ресурсов в муниципальном сообществе. В современных условиях целесообразен переход от принципа «абсолютной» безопасности или «нулевого» риска к принципу «приемлемого» риска, что обеспечивает качественный подход в управлении территориальным развитием. Вероятность и уровень проявления различных рисков учитываются посредством сценарного планирования, что позволяет проектировать варианты развития с учетом предполагаемого воздействия факторов среды, набора мер и проектов. При проявлении рисков наличие сценариев развития позволяет оценивать вероятный уровень смещения траектории развития в пределах учитываемых тенденций и принимать меры альтернативного сценария.

Посредством сценарного планирования в Программе социально-экономического планирования развития города Красноярска до 2020 г. учтен риск изменения экономической конъюнктуры, приведена оценка вероятного уровня влияния отдельных факторов на смещение предполагаемой траектории развития города, возможного «коридора» характеризующих параметров. В проекте Программы выделены риски социально-экономического развития города: риски макрогруппы, связанные с ухудшением макроэкономических условий на мировых рынках, и риски микрогруппы, связанные с нереализацией или несвоевременным запуском крупных инвестиционных проектов.

Для измерения рисков в Программе использован индикативный подход. Индикаторы проявления рисков: индекс промышленного производства, рост инвестиций в сопоставимых ценах, рост реальной заработной платы. Произведена оценка отклонения значений индикаторов между сценариями Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г., Стратегии социально-экономического развития Красноярской агломерации до 2020 г., а также измерение влияния кризиса – порога цикличного максимального изменения в кризисных условиях.

Анализ показал, что допустимый средний уровень ежегодного отклонения по ключевым индикаторам развития составляет: индекс промышленного производства +/– 4,5 %, рост инвестиций в сопоставимых ценах +/– 5,5 %, рост реальной заработной платы +/– 4,6 %. В условиях существенных структурных изменений на макроуровне дрейфование показателей составляет порядка 8,5–10 % [7].

Таким образом, в проект Программы уже на стадии разработки заложена возможность «разумных» допустимых отклонений в параметрах социально-экономического развития города. При ухудшении

макроэкономических условий на мировых рынках, ослаблении рубля и недостаточном притоке капитала в экономику города инвестиционная политика города и перечень программных мероприятий будут пересмотрены в сторону альтернативного сценария с целью реализации специально разработанных антикризисных мероприятий по стабилизации экономики города.

Реализация стратегической программы развития муниципального образования в перспективе должна предполагать не только наличие бюджетного обеспечения на текущий год, но и разработку стратегического годового баланса финансовых ресурсов, учитывающего государственные финансы, вкладываемые в развитие территории муниципального образования, а также предпринимательскую деятельность на этой территории. Эта перспективная задача влечет за собой следующие задачи, а именно, необходимость разработки механизмов:

1. Согласования и синхронизации стратегий регионального развития субъектов Российской Федерации, стратегий развития муниципальных образований и федеральных отраслевых стратегий. В настоящее время различные аспекты деятельности территориального планирования «разнесены» по различным ведомствам. Реформы инфраструктур (транспорт, связь, энергетика, ЖКХ) и в целом последствия реализации пакета реформ на территориальном уровне не скоординированы и не синхронизированы.

Любой субъект РФ представляет собой совокупность городских округов, муниципальных районов и поселений. Мысль о том, что всякий ресурс для развития субъекта РФ находится на территории муниципальных образований, должна в явном виде прослеживаться в программах социально-экономического развития регионов. К сожалению, на сегодняшний день Красноярский край не имеет не только законодательно принятого стратегического документа социально-экономического развития региона, но и даже правового поля разработки и реализации отраслевых стратегий развития на долгосрочный период.

2. Привлечение на развитие территории средств крупных корпораций и частного бизнеса путем их включения в процесс стратегического планирования.

Инвестиционный портфель Программы на период до 2020 г. насчитывает 305 инвестиционных проектов. Объемы инвестиций за счет всех источников финансирования на 2011–2015 гг. составляют 336,6 млрд руб., на 2016–2020 гг. – 409 млрд руб. [7]. Доля частных инвестиций в среднем 80 % – это жилищная застройка, ключевые проекты частных инвесторов и инвестиционные программы предприятий коммунального комплекса. Безусловно, это только малая часть частных инвестиций, реально поступающих и потенциально возможных к вложению на развитие города.

Для воплощения заявленной стратегии развития Красноярска очень важна реализация принципов частно-государственного и частно-муниципального партнерства, распределение задач между частным бизнесом, государством и муниципалитетом, разработка плана их совместных действий, системы координации и процедур распределения рисков.

Следует отметить, что в реализации мер поддержки хозяйствующих субъектов органы местного самоуправления ограничены полномочиями, установленными Федеральным законом № 131-ФЗ и бюджетным законодательством. Давно назрела необходимость законодательно закрепить в рамках Федерального закона № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в РФ» полномочиями органов местного самоуправления «выращивание» бизнеса на своей территории, а также правовые основы взаимодействия органов местного самоуправления с крупным бизнесом;

3. Кроме того, в планировании развития города необходимо учитывать и то, что в настоящих условиях практически не реализуется механизм межмуниципального сотрудничества при наличии законодательных для этого основ № 131-ФЗ. Сегодня Красноярск выходит за свои границы. Активно развивается малоэтажное строительство, появляются новые промышленные площадки, укрепляются кооперационные связи между различными организациями Красноярска и близлежащих городов и районов. Среди вопросов, требующих выстраивания межмуниципального сотрудничества в рамках стратегического планирования, можно обозначить:

– сотрудничество в рамках территориального планирования, учет и развитие кооперационных связей в территориальном планировании между отдельными территориями;

– формирование схемы управления совместными между муниципалитетами проектами и распределение налоговых доходов от реализации совместных проектов;

– формирование тарифов на ресурсы, потребляемые муниципалитетами совместно, и создание центра управления формированием и регулированием тарифов.

В заключение необходимо отметить, что имеющееся нормативно-правовое и методологическое обеспечение организации стратегического планирования развития муниципального образования не вполне адекватно сложности задач, возникающих перед муниципалитетами как разработчиками и основными ответственными за реализацию программ социально-экономического развития.

Необходима взаимоувязка технологий стратегического планирования социально-экономического развития муниципального образования и муниципальной финансовой политики, внедрение программно-целевого подхода на всех уровнях планирования: долгосрочном, средне- и краткосрочном.

Необходимо переосмысление роли бизнеса и экспертного сообщества в процессе разработки и реализации документов стратегического планирования развития муниципалитетов, а также синхронизация стратегии развития муниципалитета со стратегий регионального развития субъекта Российской Федерации, со стратегиями муниципальных образований – сосе-

дей на территории субъекта Российской Федерации и с федеральными отраслевыми стратегиями крупных госкорпораций, филиалы которых находятся на территории муниципального образования.

В систему мониторинга реализации Программы целесообразно включить мониторинг возможных рисков социально-экономического развития города, разработку упреждающих мер и предложений по изменению траектории развития, для чего в систему управления Программой целесообразно встраивать подсистему научного сопровождения.

Таким образом, вопросы разработки и обеспечения реализации программ социально-экономического развития муниципальных образований в сегодняшних условиях не могут эффективно решаться без совместной, согласованной политики, требующей проработки концептуальных задач на основе нормативного регулирования субъектов РФ, а также партнерства различных уровней власти и субъектов хозяйствования в стратегическом планировании.

Библиографические ссылки

1. Российская Федерация. Законы. О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон РФ № 115-ФЗ от 20.07.1995. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Российская Федерация. Постановления. О порядке взаимодействия органов исполнительной власти края и органов местного самоуправления в процессе планирования социально-экономического развития Красноярского края [Электронный ресурс] : постановление Правительства Красноярского края № 204-п. от 19.04.2011. URL: http://www.zakon.krskstate.ru/0/doc/5481.

3. Комплексные программы социально-экономического развития муниципальных образований: Опыт, проблемы, рекомендации / И. С. Головко, Т. В. Псарева, Е. В. Репина–Гаврикова и др. ; под общ. ред. Т. В. Псаревой. Новосибирск, 2006.

4. О деятельности администрации города Красноярска в 2010 г. и основных направлениях деятельности на 2011 г. [Электронный ресурс] : материалы к докладу Главы города на сессии Краснояр. город. сов. депутатов. URL: http://www.admkrsk.ru/citytoday/economics/Pages/developmentprogram.aspx.

5. Красноярск в цифрах // Красноярскстат. Красноярск, 2011. № 1–10.

6. Российская Федерация. Постановление. О процессах формирования и реализации комплексной программы социально-экономического развития города Красноярска на долгосрочный период [Электронный ресурс] : постановление администрации № 18 от 02.02.2009. URL: http://www.sibinfo.su/kras/officiality/t2/.

7. Российская Федерация. О программе социально-экономического развития города Красноярска до 2020 г. [Электронный ресурс] : решение Краснояр. гор. совета депутатов № В-267 от 13.10.2011 г. URL: http://www.sibinfo.su/alt/officiality/.

T. V. Zelenskaya, A. A. Portnova

PROBLEMS OF STRATEGIC PLANNING: DEVELOPMENT AND MAINTENANCE OF REALIZATION OF A LONG-TERM PROGRAM OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF MUNICIPAL UNIT IN CONDITIONS OF INNOVATIVE SCENARIO ON THE EXAMPLE OF CITY OF KRASNOYARSK

The authors present analysis of federal and regional (on an example of Krasnoyarsk region) legislations, with regard to questions of development and realization of complex programs of social and economic development. By means of the analysis of experience of municipal unit, namely, city district of Krasnoyarsk, on formation of the program of social and economic development of the city till 2020, the authors offer: mechanism of integration in process of development of a program of business-structures and expert community through creation of branch advisory councils; establishment of interrelation of technologies of strategic planning and municipal financial policy by means of introduction of the program-target approach and tool DROND. In the planned parameters of social and economic development of municipal unit, on the basis of application of the indicative approach, results of the analysis of the average level of deviations are presented, for estimation of possible risks of social and economic development.

Keywords: strategic planning, social and economic development, branch advisory councils, target reference points, scenary planning, the indicative approach to measurement of risks.

© Зеленская Т. В., Портнова А. А., 2012

УДК 378

А. А. Кузнецов, С. М. Самохвалова

УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ВУЗА

Представлено обоснование необходимости разработки и реализации вузом стратегии инновационного развития. Описаны варианты таких стратегий, дана комплексная характеристика условий реализации стратегии инновационного развития. Представлена структура показателей для проведения стратегического аудита инновационного развития.

Ключевые слова: инновационное развитие, стратегия, стратегический аудит.

Формирование общества, основанного на знаниях, сопровождается переходом к массовой подготовке специалистов высшей квалификации. Устойчивость конкурентной позиции страны в глобальном экономическом пространстве, как показывают исследования, требует, чтобы не менее 30 % взрослого населения имело высшее образование. По итогам 2010 г. лидирующие позиции по уровню образования взрослого населения занимают три страны – США, Норвегия, Израиль, в которых 30 % населения в возрасте 25–64 года имеют законченное высшее образование. Россия, занимавшая в 2002 г. 7-е место, в 2010 г. уступила свои позиции еще четырем странам, разделив 11–13-е места с Великобританией и Швецией.

Современные аспекты модернизации высшей школы обусловлены следующими двумя экономическими процессами. Прежде всего, основой конкурентоспособности предприятий становятся знаниевые активы. При этом знания понимаются и как товар, и как инструмент образования интеллектуального капитала. Одной из важнейших движущих сил таких трансформаций должна выступать инновационная деятельность учебных заведений всех уровней, а в особенности высшего профессионального образования.

Кроме того, еще одной существенной тенденцией развития сферы образования является его глобализация, выражающаяся в Болонском процессе. Данный процесс вызван глобализацией экономики, с одной стороны, а также тем фактом, что продукты образовательной деятельности, как квалифицированные кадры, наукоемкие технологии и инновационные производства стали жизненно необходимым ресурсом для промышленно-развитых и развивающихся стран. Роль образования в этом аспекте становится не вспомогательно-поддерживающей, а движущей и направляющей. Очевидно, что, не определив стартовые условия в виде стратегической ориентации на инновационное развитие, современному университету бессмысленно даже пытаться претендовать на достойное место в национальной образовательной элите.

Основная особенность стратегического развития вуза сегодня состоит в возможности стимулирования экономического и общественного роста через повышение производительности труда, сокращение пути от открытия до его практического освоения. Инновационно-активное профессиональное образование также может увеличивать не только скорость распространения научного открытия, но и темп их совершения. Это объясняется тремя причинами. Во-первых, дальнейшее развитие науки и техники немыслимо без высококвалифицированных ученых, исследователей, инженеров, аналитиков, проектантов. Они являются генераторами и реализаторами новых идей, и от них во многом зависит практическая реализация сделанных открытий. Во-вторых, значительное число научных разработок осуществляется ими в стенах высших учебных заведений. И особое значение здесь может иметь осуществляемое в режиме интеграции взаимодействие исследователя и педагога. И, в третьих, многие улучшения в технологии и организации труда делаются непосредственно на рабочем месте. Если образование развивает в работнике новаторские творческие способности – это также благоприятствует социальному прогрессу.

В настоящее время учреждения высшего профессионального образования не только в России, но и во всем мире столкнулись с необходимостью решения целого ряда срочных и сложных проблем. Весомый масштаб рынка образовательных услуг (его емкость по оценкам экспертов составляет 2 трлн долл. США) [1] делает систему образования значимым фактором хозяйственного механизма. В качестве приоритетов выдвигаются требования и задачи по подготовке специалистов, обладающих необходимой совокупностью когнитивных, личностных, социальных компетенций, готовностью развивать поливариативную карьеру. Данное условие также обосновывает необходимость стратегического подхода к инновационному развитию. Сущность такого рода стратегий может заключаться в открытии новых образовательных программ, трансформации уже имеющихся образовательных программ в международный формат, создании новых организационных форм обучения, разработке и использовании новых образовательных технологии и т. д. Каждый из таких вариантов стратегий, при условии его обоснованного выбора и эффективной реализации, способен сформировать опережающее предложение специалистов на региональном, федеральном и даже мировом рынке труда. Очевидно также, что образовательный и исследовательский процесс на основе стратегий инновационного развития должен осуществляться в режиме интеграции вузов с ведущими научно-исследовательскими и инновационными центрами, производственными предприятиями и фирма-

ми, а также учреждениями всех уровней системы образования.

Реализация любой стратегии инновационного развития требует значительных капиталовложений, необходимых для решений задач, связанных с разработкой учебно-методического, информационного обеспечения, повышением квалификации преподавателей и сотрудников, задействованных в инновационном образовательном процессе, активизацией учебно-научно-производственных связей, созданием специальной инфраструктуры, обеспечивающей изучение спроса на образовательные услуги, разработку и апробацию инновационных решений, их трансферт потребителям.

Совокупность условий, обеспечивающих реализацию стратегий инновационного развития вуза, представлена на рис. 1. Стартовым условием является необходимость разработки и реализации соответствующих конкурентных и функциональных стратегий. В случае выполнения данного условия необходима трансформация инфраструктуры вуза за счет развития инновационной инфраструктуры. В зависимости от выбранного варианта стратегии инновационного развития, портфеля конкурентных стратегий, целесообразно развивать либо интегрированные многопрофильные инновационные центры, типа бизнес-инкубаторов, либо, например, специализированные ресурсные центры, проектно-лабораторные комплексы. Возможен также вариант создания инновационных подструктур в рамках уже действующих академических подразделений (лаборатория при кафедре, инжиниринговый центр факультета и т. д.).

Создание новых форм организации образовательно-исследовательского процесса может предусматривать использование:

– серверов дистанционного обучения;

– системы электронной идентификации и контроля посещения занятий студентов;

– индивидуального модульного планирования;

– оперативного лекционного тестирования;

– сквозных межуровневых, межпредметных образовательных и исследовательских проектов;

– коллективных тренингов; онлайновых коллективных тренингов;

– асинхронного IP-хелпинга (возможность задать через Интернет любые вопросы по учебной программе и получить ответы на них от профессорско-преподавательского состава в асинхронном режиме);

– индивидуального компьютерного тренинга;

– электронного читального зала (библиотека); исследовательских обучающих программ Р-тьюторов; профессиональных обучающих программ П-тьюторов; имитационных профессиональных обучающих программ ИП-тьюторов; модульных рабочих учебников.

Формирование целевого типа организационной культуры является важным фактором мотивации ППС, студентов и всех заинтересованных в реализации стратегии групп. Использование разнообразных каналов межличностных, межгрупповых коммуникаций, работа в едином фирменном стиле, мобильная конфигурация пространства учебных аудиторий, открытый доступ к проектной деятельности, предоставление возможностей грантовой поддержки всех уровней, содействие контрактам и сотрудничеству – все эти условия перехода вуза от бюрократической к партиципативной организационной культуре способны задать необходимый импульс к инновациям, действуя как катализатор группового взаимодействия и сотрудничества.

Система стимулирования ППС, исследователей и руководителей в основе своей должна ориентироваться на поддержание ценностей, присущих инновационному типу поведения. Формирование кадрового потенциала и его поддержка в части стимулирвоания инновационной деятельности может опираться на следующие модели инновационного поведения:

– организационная модель – готовность к организации и реализации идей, нестандартных решений, обеспечение проекта нужными видами ресурсов, организация коммуникаций;

– коммерческая модель – создание новых каналов обмена разработок, услуг, информации;

– консалтинговая модель – обеспечение нуждающихся профессиональной поддержкой по исследуемому кругу проблем;

– инвенторная модель – продвижение или продажа собственного или стороннего «ноу-хау».

При внедрении системы показателей оценки эффективности реализации стратегии и проведении стратегического аудита основным принципом должна стать ориентация на минимизацию противоречия между творческим, а, следовательно, слабоформализуемым как бизнес-процесс характером инновационной деятельности, и необходимостью оценки на всех уровнях реализации стратегии.

Определение набора ключевых показателей – своего рода искусство, хотя можно описать логику процедуры его построения и характеристики, которым он должен удовлетворять. Процедура определения состоит из двух шагов:

1) выявление управляемых ключевых факторов успеха (КФУ) вуза. Построение «дерева факторов» с учетом принятой стратегии развития;

2) определение ключевых показателей, количественно измеряющих каждый фактор. При этом набор должен обеспечивать:

– полный охват всех бизнес-процессов вуза по областям BSC;

– количественную обозримость;

– непротиворечивость и согласованность показателей.

Фактически результатом выполнения первого шага процедуры будет построение бизнес-модели вуза на основе реализуемой стратегии.

Предлагаемая структура системы показателей стратегического аудита при реализации вузом стратегии инновационного развития приведена на рис. 2. Данная система учитывает высокий уровень неопределенности инновационного процесса в вузе, в то же время она ориентирована на постоянно растущие требования к формализации всех вузовских процессов.

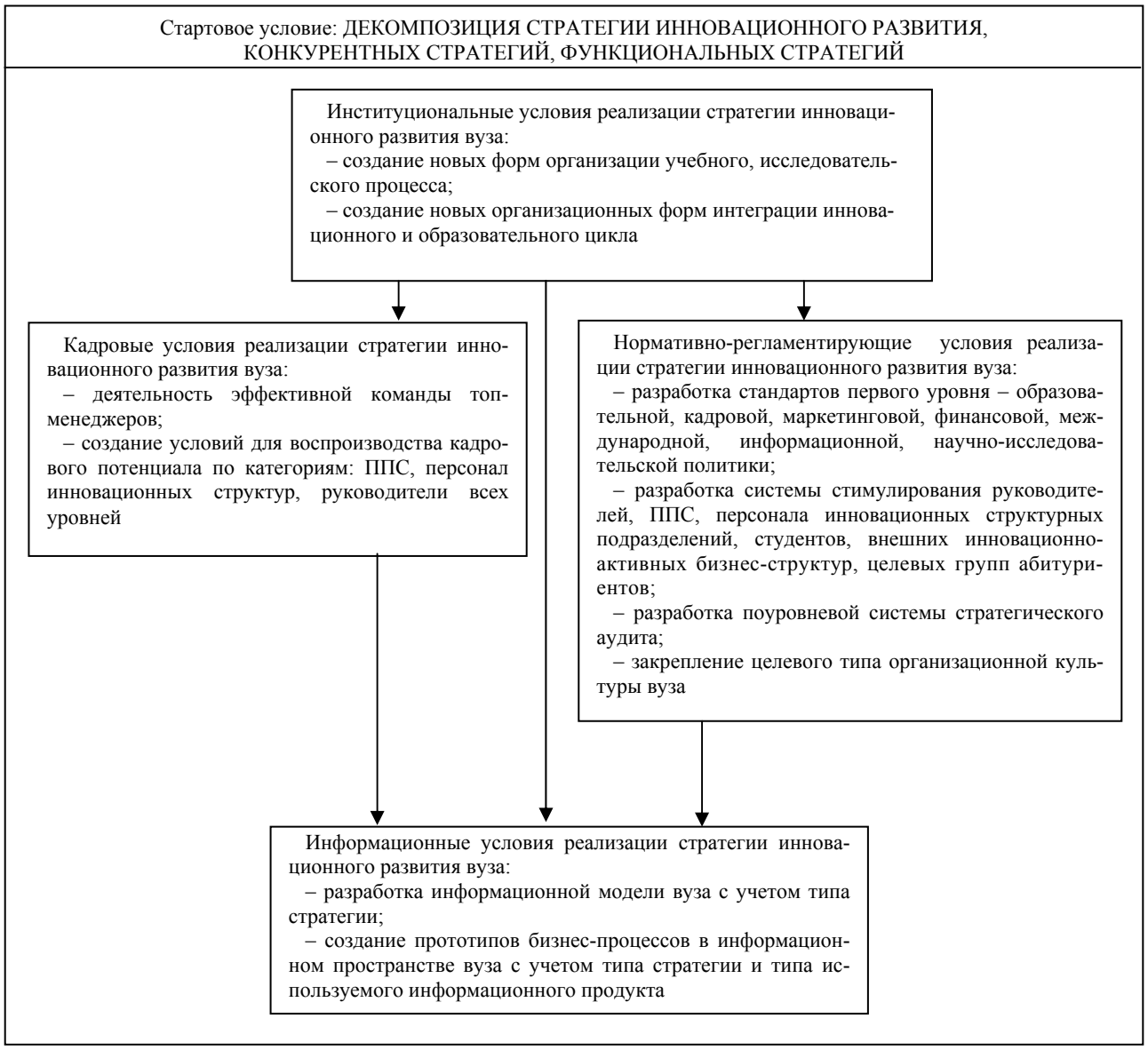


Рис. 1. Условия реализации стратегии инновационного развития вуза

Рис. 2. Структура системы показателей стратегического аудита при реализации вузом стратегии инновационного развития

Как видно из описанных условий и системы показателей, принципиальное отличие инновационного развития вуза состоит в том, что в данном случае речь идет не просто об увеличении числа реализуемых исследовательских и образовательных проектов или выпуске инновационной продукции за счет более рационального использования ресурсов, а об изменениях, технологических сдвигах в самой структуре вуза, реализуемых им процессов, методах и пропорциях распределения благ, идеологии управления. При этом инновационное развитие в качестве неотъемлемого компонента функционирования системы образования в целом должно предусматривать методы и механизмы устойчивого баланса между новшествами и стабильностью, поскольку образовательные организации принимают на себя значительную социальную ответственность.

Библиографическая ссылка

1. Парментер Д. Ключевые показатели эффективности. Разработка, внедрение и применение решающих показателей / пер. с англ. А. Платонова. М. : Олимп-Бизнес, 2008.

A. A. Kuznetsov, S. M. Samokhvalova

CONDITIONS OF REALISATION OF UNIVERSITY INNOVATIVE DEVELOPMENT STRATEGY

The authors present motivations of elaboration and realization of innovative development strategy, to be done by universities. The authors describe different variants of such strategies, give complex characteristics of realization conditions for such strategies, and describe the structure of strategic audit indicators.

Keywords: innovative development, strategy, strategic audit.

© Кузнецов А. А., Самохвалова С. М., 2012

УДК 65.29

В. А. Левко, Н. В. Бахмарева

МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫМИ ФОНДАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассмотрены методы и инструменты перехода от функционального к процессно-ориентированному управлению воспроизводством ОПФ на предприятиях РКП.

Ключевые слова: процессно-ориентированное управление, функциональный подход, воспроизводство, основные производственные фонды.

Ракетно-космическая промышленность (РКП) является одной из ведущих отраслей оборонно-промышленного комплекса и промышленности России в целом. На сегодняшний день – это наиболее высокотехнологичная и инновационная сфера отечественной экономики, обеспечивающая России поддержание ее оборонной и экономической безопасности в целом. Ракетно-космическая промышленность исторически создавалась как единая база для разработки, создания и производства ракетно-космической техники оборонного и гражданского назначения. Однако, в отличие от аналогичных промышленностей мировых ракетно-космических держав, ракетно-космическая промышленность России создавалась в условиях жестко централизованной экономики, что позволило ей, с одной стороны, накопить научный, производственный, технологический потенциал, а, с другой – не способствовало созданию механизма функционирования РКП в рыночной экономике.

На сегодняшний день главным критерием эффективности оборонно-промышленного комплекса остается его способность обеспечить выполнение Государственной программы вооружения (ГПВ). Согласно заданиям ГПВ на 2011–2020 гг. в части создания стратегической и оперативно-тактической ракетно-космической техники, главным условием выполнения этой задачи является способность предприятий ракетно-космической промышленности своевременно подготовить необходимые производственные мощности. К сожалению, процесс старения их основных фондов (особенно активной части) стал определяться недопустимо низкими для выполнения ГПВ темпами ввода нового оборудования и такими же низкими темпами выбытия устаревшего. Организация управления воспроизводством ОПФ на современных российских предприятиях весьма далека от совершенства. Сегодня основанные на традиционном разделении функции структуры управления предприятий ракетно-космической промышленности не соответствуют количественным и качественным изменениям в технической базе производства, а также не могут выполнять возросшие задачи по ее использованию. Поэтому

требуется поиск новых, более эффективных форм управления этой сферой. Новые возможности для развития системы управления воспроизводством ОПФ предприятий РКП открывает процессный подход к управлению организацией [1].

Повышение эффективности управления на основе процессной методологии обеспечивает положительное изменение общих экономических показателей функционирования за счет более эффективного использования ресурсов и усиления адаптивных качеств предприятия. И здесь важно понимать, что процессный подход не отвергает существующую функциональную систему управления, а определяет пути ее улучшения и постепенного перехода к процессно-ориентированной системе управления.

Прежде чем говорить о внедрении в организации процессного подхода к управлению, необходимо дать определение этого понятия. В ИСО 9001 серии 2008 приводится следующая информация: «Настоящий международный стандарт стимулирует применение процессного подхода при разработке и внедрении системы менеджмента качества и повышении результативности и эффективности в целях повышения удовлетворенности заинтересованных сторон за счет обеспечения соответствия их требованиям. Чтобы организация действовала эффективно и результативно, она должна определять и управлять рядом сквозных работ (деятельностей). Деятельность, использующая ресурсы и управляемая в целях приобретения способности превращать входы в выходы, рассматривается как процесс. Часто выход одного процесса непосредственно формирует вход для следующего. Применение системы процессов в организации вместе с идентификацией и взаимодействием этих процессов, управлением процессами для получения требуемого результата, можно считать процессным подходом.

Преимуществом процессного подхода являются:

– интеграция и ориентация процессов для обеспечения достижения желаемых результатов;

– способность сосредоточить усилия на результативности и эффективности процессов.

– прозрачность процессов внутри организации;

– снижение затрат и сокращение производственного цикла благодаря результативному использованию ресурсов;

– улучшенные, стабильные и предсказуемые результаты;

– обеспечение возможности для сфокусированных и приоритетных инициатив по улучшению;

– способствование вовлечению персонала и объединению его ответственности [2]».

Таким образом, стандарты ИСО серии 9001 в настоящее время представляют собой, пожалуй, единственные документы, где сформулировано четкое определение процессного подхода к управлению. Тем не менее, в данных документах не прописывается, как конкретно перейти на процессно-ориентированное управление, и что является критерием достижения запланированного результата.

В процессе проведенного исследования работ, посвященных данной проблематике, было установлено, что до настоящего времени среди экономистов и менеджеров не существует единого мнения о составе и последовательности организационных действий по переходу к управлению на основе процессного подхода [2]. Большое количество проанализированных организационных мероприятий, предлагаемых в научно-методической литературе и периодических изданиях, по реализации процессного подхода позволило систематизировать их с точки зрения эффективности перехода и закрепления полученных результатов в ряд последовательных действий:

1) провести построение, анализ и оптимизацию цепочек создания ценности организации;

2) создать систему (сеть) процессов организации с учетом ее целей и стратегии;

3) на основе системы процессов оптимизировать организационную структуру организации;

4) разработать и внедрить систему показателей для управления организацией и процессами;

5) организовать управление процессами;

6) организовать деятельность руководителей по улучшению процессов.

Однако многие авторы, к сожалению, не прописывают такую важную составляющую процесса реализации данных мероприятий как необходимый инструментарий, позволяющий описать процессный подход к управлению или, если он уже описан, провести оптимизацию управления. Выявленные и систематизированные в рамках проведенного исследования инструменты процессно-ориентированного управления, подлежащие обязательному использованию на всех этапах при описании процессного подхода, представлены ниже:

– схема цепочек создания ценности;

– система бизнес-процессов;

– матрица распределения административных задач управления;

– система показателей управления процессами.

Важно отметить, что каждый из выделенных инструментов имеет различную значимость, и только использование их в совокупности позволит осуществить комплексный переход к управлению на основе процессного подхода. Основное преимущество данного подхода по сравнению с другими подходами заключается в управлении и контроле взаимодействий как между процессами организации, так во взаимодействии между ее структурными подразделениями. Последовательность применения инструментов процессно-ориентированного управления – это метод описания процессного подхода. Некоторые инструменты при реализации мероприятий по внедрению процессно-ориентированного управления могут использоваться одновременно.

Рассмотрим более подробно каждый инструмент из этого комплекса.

Цепочка создания ценности (ЦСЦ). Методика практического решения задачи формирования комплекса инструментов процессно-ориентированного

управления предусматривает, в первую очередь, выделение, композицию и графическое описание бизнес-процессов организации как систему создания цепочек ценности для клиента. На самом верхнем уровне, условно называемом стратегическим, организационная деятельность рассматривается как цепочка создания ценности, взаимодействующая со своими потребителями и поставщиками. Поэтому основной критерий классификации процессов на этом уровне – клиент (заинтересованная сторона), ради которого процесс функционирует. Подход к построению ЦСЦ основывается на методологии, предложенной М. Портером, которая предусматривает выделение основных (первичных) бизнес-процессов, обеспечивающих создание потребительской ценности продукта, и поддерживающих (вспомогательных) бизнес-процессов, обеспечивающих функционирование бизнеса и сопровождающих создание продукта на всем протяжении его жизненного цикла. Если рассматривать цепочку создания ценности с позиции руководства отдельной организации, то эта цепочка может включать процессы поставщиков ресурсов и услуг первого уровня (непосредственных поставщиков компании). Данные действия необходимы для интеграции процессов компании в цепочки, существующие на межорганизационном уровне.

В. В. Репин, используя последние идеи М. Портера, предлагает следующую последовательность действий по созданию цепочки ценности (ЦЦ) организации и процессов, которые входят в их состав [2]:

– выстроить границы, в рамках которых организация планирует выстроить ЦЦ;

– выделить и описать ЦЦ на уровне процессов верхнего уровня;

– провести анализ ЦЦ по отношению к цепочкам основных конкурентов;

– исключить из планов организации продукты и услуги, а также связанные с ними цепочки, не имеющие конкурентоспособных перспектив;

– оптимизировать те цепочки, по которым предприятие имеет сильные позиции в настоящем либо в привлекательные перспективы.

При описании и анализе цепочек создания ценности входящие в них процессы рассматриваются укрупнено, например, процесс производства, процесс хранения, процесс доставки и т. п. Наиболее важны для описания и анализа в данной модели, как правило, основные бизнес-процессы организации, создающие добавленную стоимость. Управляющие и поддерживающие процессы в большинстве организаций схожи, поэтому они представляют меньший интерес.

В. Н. Тупкало и С. В. Тупкало в своих работах предлагают помимо цепочек создания ценности для клиента выстраивать интегрированную цепочку ценности всей организации и включать в нее дополнительно три типа ЦСЦ: цепочку создания управленческой ценности организации; цепочку создания ценности первичных учетных данных; цепочку создания управленческой информационной ценности для руководителей организации (центров принятия управленческих решений).

Выявление цепочек создания ценностей – первый шаг при переходе на процессно-ориентированное управление. Однако данный метод описания бизнес-процессов компании обладает и рядом недостатков: сложность схем для визуализации; отсутствие отражения динамики бизнес-процессов (сложно осуществить привязку процессов ко времени выполнения, например, показать одновременно выполняемые процессы); высокий уровень требований к квалификации сотрудника, выполняющего построение схем.

На сегодняшний день метод построения и анализа цепочек создания ценности может быть эффективно использован для структурирования общей деятельности организации, т. е. использование данного инструмента для создания структурной модели бизнес-процессов на верхнем уровне и оценки вклада в создаваемые ценности соответствующих производственных процессов, выявления связи ценности с различными внутренними структурами, системами и характеристиками.

Система бизнес-процессов (СБП) организации. Ее построение – это второй иерархический (тактический) уровень описания процессно-ориентированного управления. В настоящее время многие российские предприятия внедряют процессный подход, в том числе при разработке системы менеджмента качества на основе требований стандарта ИСО серии 9001 версии 2008 г. Безусловно, внедрить данный подход в организационную деятельность комплексно и эффективно невозможно без создания в организации системы процессов.

Взгляд на организацию как на систему процессов означает структурирование выполняемой в ней работы в виде процессов и их увязку между собой в четко организованную и эффективно взаимодействующую систему. При этом строиться данная система должна адекватно реальному бизнесу. Только адекватно выделенные процессы и построенная из них система будут соответствовать сущности рассматриваемого бизнеса и целям его развития. При этом бизнес-процесс является центральным элементом процессно-ориентированной модели управления. Под бизнес-процессом (процессом) понимается устойчивая, целенаправленная, повторяющаяся в определенной последовательности совокупность горизонтально и вертикально взаимосвязанных функций организации, которая по заданной технологии в установленный период времени преобразует ресурсы в готовые продукты или услуги, представляющие ценность для потребителя. А в качестве потребителя могут выступать как внешние заказчики, так и внутренние. Исходя из этого определения, можно сделать вывод о том, что бизнес-процесс имеет сложную структуру и может быть разбит на отдельные процессы, которые, в свою очередь, состоят из операций и действий.

Приступая к разработке модели системы процессов, большинство организаций сталкиваются с определенными проблемами, и в первую очередь, с проблемой выбора наиболее оптимального для данной организации варианта построения системы процессов.

В научной литературе и периодических изданиях предлагаются два основных подхода к построению модели системы процессов организации: метод «сегментирования»; метод управления бизнес-процессами на межфункциональном уровне.

При первом подходе к построению системы бизнес-процессов организации авторы предлагают выделить, классифицировать и описать бизнес-процессы в рамках существующей функциональной структуры управления. При этом должны рассматриваться реальные процессы организации, а не искусственно обособленные от деятельности. Реальность процессов достигается путем привязки сети (системы) процессов к функциональным подразделениям предприятия. Некоторые ученые называют данный метод системным, базирующимся на следующих основных положениях: выявление и классификация процессов, необходимых для системы менеджмента; определение последовательности этих процессов и их взаимосвязи (формирование сети бизнес-процессов в рамках существующей организационной структуры); определение критериев и методов, необходимых для обеспечения уверенности в том, что и сами эти процессы, и управление ими результативны; обеспечение наличия ресурсов и информации, необходимых в ходе реализации этих процессов и их мониторинга; наблюдение, измерение бизнес-процессов и осуществление их анализа; реализация мероприятий, необходимых для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения этих процессов.

В данном методе построения системы бизнес-процессов существует четкое разделение процессов на основные и вспомогательные. Основным считается процесс, непосредственно связанный с разработкой, производством и реализацией товаров (работ, услуг), т. е. создающий или добавляющий прямую потребительскую стоимость продукту или услуге и напрямую влияющий на общую производительность и эффективность организации. Нормальное функционирование основных бизнес-процессов организации обеспечивают вспомогательные бизнес-процессы, в рамках которых происходит материально-техническое, трудовое, финансовое и информационное обеспечение, управленческий учет и контроль, ремонтное обслуживание, совершенствование производства и соблюдение экологической безопасности и т. д. Вспомогательные бизнес-процессы влияют на потребительскую стоимость товара косвенно, через основные бизнес-процессы.

Привязывая процессы к функциональным подразделениям, можно добиться определения границ процесса (по входам/выходам, выполняемым функциями подразделений); взаимодействия процессов в рамках сети процессов предприятия; владельцев процессов, отвечающих за результативность и эффективность каждого процесса.

Можно выделить следующие достоинства первого подхода: повышение прозрачности деятельности каждого подразделения в отдельности и управления организацией в целом; появляется возможность более динамичного совершенствовать как сам бизнес-процесс, так и его отдельные части; творческое начало в работе и личная заинтересованность каждого сотрудника в успехе выполнения бизнес-процесса; смягчение вертикальной цепочки управления, больше полномочий и возможностей для принятия решений на местах.

В то же время данный подход оставляет нерешенными проблемы функциональной системы управления: излишняя бюрократизация и препоны в согласовании решений между разными уровнями управления; проблемы в налаживании связей между различными отделами и, соответственно, бизнес-процессами; отсутствие визуализации целостности организационной деятельности и ответственности за ее результат.

Второй подход основан на выделении в организации «сквозных» бизнес-процессов, т. е. описывается продукт компании на всех стадиях его жизненного цикла. Обычно приверженцы идеологии «сквозных» процессов определяют бизнес-процесс как целенаправленную последовательность операций (работ, процедур), приводящую к заданному конечному результату – выходу процесса. При этом в организации может быть выделено столько бизнес-процессов, сколько смогут субъективно обосновать руководители и специалисты. Вначале бизнес-процесс представляет собой описание последовательности работ, выполняемых без закрепления к подразделениям предприятия, исполнителям, входящим и исходящим документам. Затем формализованные «сквозные» бизнес-процессы вписываются в новую организационную структуру (чаще матричного типа), построенную на процессном подходе к управлению.

На основе этого подхода описание идет по следующему сценарию: 1) создаются модели «как есть»; 2) проводится анализ моделей «как есть»; 3) проводится реорганизация реальной деятельности на основе моделей «как должно быть»; 4) создается новая организационная структура на основе процессного подхода к управлению.

Деление на основные и вспомогательные процессы здесь происходит уже внутри самого бизнес-процесса, так как его выполнение затрагивает как производственные, так и обслуживающие подразделения организации.

Преимущества подобных систем заключаются, главным образом, в почти полном устранении или минимизации недостатков старых организационно-функциональных контрольно-управленческих систем путем перенесения основного вектора управления с вертикальных должностей на горизонтальные связи; выделения особых проектных групп с большими полномочиями по принятию решений в рамках конкретных процессов и штатом специалистов по различным областям знаний из многих подразделений организации; четкого разграничения ответственности должностных лиц за надлежащее использование бизнес-процессов; более гибкого механизма разработки и внедрения инноваций как в области производства, так и в сфере управления.

В то же время при всех несомненных достоинствах данного подхода нельзя не учитывать и его явные недостатки: разработка и внедрение модели управления на основе «сквозных» процессов зачастую являются весьма сложным, длительным и дорогостоящим процессом; при изменении бизнес-процессов и их составных частей появляется необходимость вносить изменения во вновь созданную организационную структуру; возникает чрезмерная раздробленность функций между различными отделами, созданными по процессному признаку, что может заметно осложнить работу менеджеров.

Однако «на практике необходимо проводить анализ целесообразности описания того или иного уровня системы бизнес-процессов с учетом реального состояния предприятия: культуры управления, реального документирования деятельности, состояния взаимодействия между подразделениями, корпоративной культуры и т. д.». По нашему мнению, выбор метода зависит от конкретной цели проекта. Дело в том, что если предприятие не ведет проект своей кардинальной перестройки, то применяется первый метод описания системы процессов организации. Нововведения в рамках создания процессно-ориентированного хозяйства не потребуют значительных изменений сложившейся системы управления – можно ограничиться куда менее болезненной реформой технологических регламентов и должностных инструкций. Если же предприятие ведет проект своей кардинальной перестройки (реинжиниринг), руководствуясь необходимостью повышения эффективности работы организации на межфункциональном уровне, налаживания коммуникаций, создания условий для самомотивации сотрудников, или создается новая организация и организационной структуры еще нет и «привязывать» бизнес-процессы не к чему – следует использовать второй метод, основанный на описании «сквозных» бизнес-процессов.

Необходимым дополнением к системе бизнес-процессов организации выступает *Матрица разделения административных задач управления (РАЗУ).* Данный графоаналитический инструмент позволяет обоснованно разделить задачи по подразделениям и службам аппарата управления, а также обеспечить их комплексную реализацию. Матрица представляет собой таблицу, в которой по горизонтальным строкам изображаются отдельные работы, функции и процессы, а по вертикальным столбцам – структурные единицы, такие как подразделения, должности или иные организационные образования (комитеты, советы и пр.). Условными знаками обозначаются отношения каждого подразделения или конкретного работника к решению задачи. Матрицу РАЗУ можно рассматривать как средство согласования входов и выходов системы процессов организации. В наименованиях столбцов располагаются входы – функциональные подразделения, службы, должности участников процесса управления. В поле матрицы условными знаками показаны функции преобразования, связывающие совокупности входов и выходов. При проектировании матрицы РАЗУ деятельность по реализации функций управления характеризуется следующими аспектами: ответственность за решение той или иной задачи управления; содержание деятельности исполнителя по реализации задачи; содержание деятельности исполнителя по подготовке и техническому обслуживанию реализации задачи. В соответствии с приведенной классификацией формируется список условных обозначений, которые символизируют те или иные аспекты деятельности по осуществлению функций управления. Количество символов, обозначающих отношение структурных подразделений и служб к решению конкретных задач управления, а также их содержание могут быть изменены, так как определяются подходом к деятельности по управлению и условиями функционирования реальных систем управления, которые являются объектами моделирования.

Система показателей управления процессами (СПУ). Следует отметить, что управлять бизнес-процессами возможно только в том случае, если в организации построена адекватная система показателей управления процессами. В ходе жизнедеятельности бизнес-системы выполнение процессов обеспечивается достижением совокупностей целей. В «дереве» целей каждая цель имеет вес и количественный или качественный критерий достижимости. Исходя из этого, появляется реальная возможность построить «дерево» показателей, т. е. сформировать систему показателей для оценки эффективности выполнения бизнес-процессов, применение которой позволяет собственникам бизнес-процессов осуществлять их контроль. Существуют различные методы построения системы показателей управления процессами организации.

На высшем (стратегическом) уровне управления для принятия решений по улучшению общей эффективности управления организационной деятельностью оценка управления процессами успешно может проводиться с помощью сбалансированной системы показателей (Balanced Scorecard – BSC). BSC – система показателей деятельности, сгруппированных по четырем аспектам или перспективам работы предприятия: финансы, клиенты, внутренние бизнес-процессы, обучение и развитие. В основе данного метода лежит стратегический подход, общий для всех уровней и объектов управления в организации. Разработанная в рамках BSC система показателей и ее мониторинг позволяют оценить эффективность реализации стратегии и сформировать меры по дальнейшему улучшению.

На среднем (тактическом) уровне для оценки управления процессами можно использовать KPI – ключевые показатели эффективности. Этими показателями оценивается результативность и эффективность деятельности, функций управления, эффективность системы, т. е. степень достижения поставленных перед системой целей. Данный метод построения СПУ процессами по KPI подразумевает следующее деление индикаторов:

– KPI, которые имеют стратегический характер (напрямую не связаны с метриками бизнес-процессов);

– KPI, которые имеют нормативный характер (оценка процессов проводится по группам показателей результативности, эффективности производства, эффективности управления).

Очевидно, что показатели, имеющие стратегический и нормативный характер, должны рассматриваться не как взаимозаменяющие, а как взаимодополняющие. Только в этом случае СПУ процессами по KPI может рассматриваться как инструмент определения направления деятельности организации по реализации ее миссии, установлению и декомпозиции стратегических целей, где эффективность их достижения может быть оценена с позиции двух составляющих KPI [2].

На низшем (оперативном) уровне для оценки управления процессами можно применять метод построения СПУ процессами, регламентированный международными стандартами ИСО 9001:2008, в которых сказано, что «оценка процесса должна проводиться по трем группам показателей: процесс, продукт процесса, удовлетворенность клиентов процесса». При управлении отдельными процессами на оперативном уровне устанавливаются показатели их достижения (стоимостные, технические и показатели времени выполнения). Организации по-разному подходят к построению и внедрению СПУ процессами. Многие делают это разрозненно, в силу того, что заказчиком построения системы BSC выступает обычно финансовый директор организации, а системы KPI – другие топ-менеджеры, начиная от заместителя генерального директора и вплоть до генерального директора. Показатели управления процессами на оперативном уровне в этом случае вызывают, как правило, интерес лишь у владельцев процессов. Однако если показатели стратегического, тактического и оперативного уровня управления процессами обособлены и не рассматриваются в качестве единой системы, у организации неизбежно возникают проблемы, связанные с разрывом между стратегическими целями и текущей деятельностью. Оторванность систем друг от друга становится причиной неэффективной мотивации руководителей подразделений к достижению стратегических целей. Устранить эти проблемы поможет интеграция систем в единое целое. В свою очередь, одновременное применение методов построения разноуровневых показателей управления процессами повлечет за собой образование в организации трех совершенно разных, не взаимосвязанных систем, не способных в полной мере охватить все направления организационной деятельности, которые, с большой долей вероятности, будут пересекаться по ряду показателей. Осуществлять эффективное управление с использованием такой системы показателей станет невозможно. Основными недостатками рассмотренных методов построения системы показателей управления процессами организации является то, что они не позволяют дать сквозную характеристику организационной деятельности от ее начала и до конца, а также сложны в разработке, внедрении и поддержании в функционирующем состоянии. Существует прямая зависимость между показателями управления процессами разного уровня, и чем теснее связь, тем эффективнее и результативнее управление процессами организации, т. е. на любом предприятии должна быть построена единая, интегрированная, многоуровневая (стратегический, тактический, оперативный уровень) система управления процессами. В работе, согласно подходу В. В. Репина, исходную базу формирования системы показателей управления процессами организации, реализуемую в рамках внедрения процессно-ориентированного управления, составляет классификация показателей организации на однородные группы: индикативные; стратегические; операционные. Приводимая классификация нужна, прежде всего, для того, чтобы проверить и уточнить систему показателей, используемую в организации.

Суть метода заключается в следующем. Для каждого показателя предлагается оценка с позиции «индикативный», а также дается возможность его использования для контроля достижения стратегических целей и повышения операционной эффективности. Данная система показателей имеет четкую прослеживаемую зависимость от конкретных процессов и позволяет принимать управленческие решения по их реорганизации. В свою очередь, чем детальнее будет рассматриваться деятельность, тем более конкретными будут показатели, которые ее характеризуют. В данной системе показателей управления процессами отдельные показатели синергично соединены воедино для достижения главных целей организации, т. е. каждый показатель отображает состояние определенной части бизнеса, которым нужно управлять. Для связи целей и показателей процессов в единую систему может быть использован следующий прием:

1) определить место процесса в цепи или сети процессов;

2) установить процесс, для которого входами являются выходы данного процесса;

3) владельцу и команде последующего процесса выбрать условия успешного функционирования их процесса;

4) принять в качестве целей и показателей данного процесса условия успешного функционирования последующего процесса.

Результатом будет являться целостная, привязанная к процессам всех уровней и ориентированная на достижение целей организации система показателей управления процессами. Преимущества предлагаемого метода заключаются в простоте реализации, наглядности результатов, скорости проведения анализа, относительной доступности данных для анализа.

Таким образом, рассмотренные методы и инструменты позволяют осуществить переход с функционального на процессно-ориентированное управление воспроизводством ОПФ на предприятиях РКП, построить прозрачную для руководства систему управления, способную гибко реагировать на изменения внешней среды; постоянно повышать эффективность и результативность воспроизводства ОПФ; обеспечивать максимальный учет интересов потребителей ОПФ; реализовать в организации системный подход

к управлению воспроизводством ОПФ в соответствии с требованиями ИСО 9001.

Библиографические ссылки

1. Бойко А. А., Бахмарева Н. В. Инструменты процессно-ориентированного управления воспроизводством основных фондов предприятий ракетно-космической промышленности // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 2 (34). С. 181–185.

2. Бойко А. А., Бахмарева Н. В. Инструменты процессно-ориентированного управления воспроизводством основных фондов на предприятиях ракетно-космической промышленности : могорафия / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2012.

V. A. Levko, N. V. Bahmareva

METHODS AND TOOLS OF MANAGEMENT OF FIXED CAPITAL OF ENTERPRISES OF SPACE-ROCKET INDUSTRY

Methods and tools of transition from functional to process-focused management of OPF reproduction, at enterprises of RKP, are considered.

Keywords: process-focused management, functional approach, reproduction, fixed production assets.

© Левко В. А., Бахмарева Н. В., 2012

УДК 658.511

В. А. Левко, Е. М. Сычева

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА: ОСОБЕННОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ И КРИТЕРИИ

Рассмотрены особенности формирования оптимальной производственной программы предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Определены задачи, ограничения и критерии формирования оптимальной производственной программы.

Ключевые слова: оптимальная производственная программа, ограничения и критерии оптимальности.

В рамках программы развития ОПК и последовательного преобразования его в высокотехнологичный комплекс страны необходимо обеспечить, в первую очередь, интеграцию ОПК в гражданский сектор экономики. С целью сближения военной и гражданской промышленности необходимо сформировать механизм более эффективного перелива научно-технических достижений и, таким образом, переориентировать экономику страны на преимущественное производство высокотехнологичной продукции, включая информационные и наукоемкие. Механизм стратегии интеграции ОПК в народное хозяйство следует рассматривать преимущественно не как перевод военных производств на выпуск гражданской продукции (по типу обычной конверсии), а как слияние с гражданской промышленностью базовых производств, выпускающих материалы, компоненты, элементную базу микроэлектроники, приборы, детали, узлы машин и т. п. Изготовители вооружений и военной техники должны представлять собой главным образом сборочные производства, носить узкоспециализированный характер и, по сути, быть ядром ОПК, ориентированным на задачи реализации программы вооружений. Технологической основой военно-гражданской интеграции должна стать передача научно-технических достижений (НТД) оборонного сектора экономики в гражданский через развитие технологий двойного назначения как фактора повышения научно-технического уровня гражданских производств и до создания единой национальной высокотехнологической базы, когда будет возможен и целесообразен процесс передачи высоких технологий из гражданского конкурентного сектора экономики в военный сектор [1].

В течение последних 15-ти лет в РФ реализуется ряд федеральных целевых программ конверсии и реформирования оборонного комплекса. Однако до сих пор они не дали сколько-нибудь значимых результатов. Основной причиной неудач стало то обстоятельство, что ни одна из них не была профинансирована в полном объеме, а также отсутствие инфраструктуры, стимулирующей перераспределение ресурсов между отраслями. Все это препятствует повышению спроса на гражданскую и военную продукцию ОПК, улучшению финансового положения предприятий комплекса, развитию информационного, финансового, материального, энергетического обмена между субъектами ОПК и другими субъектами рынка, а также в рамках оборонно-промышленного комплекса [2].

Сдерживающее влияние на развитие инновационной деятельности в России оказывает слабая поддержка со стороны государства, а также отсутствие активизации инновационной политики на региональном и муниципальном уровне, отсутствие эффективных механизмов финансирования инновационной деятельности. На предприятиях ОПК традиционно сложились формы и способы, отвечающие условиям реализации оборонного заказа.

Сохранение производственного и инновационного потенциала на предприятиях ОПК, а также обеспечение их устойчивого инновационного развития в этих условиях возможно только на основе осуществления конверсионных программ, реализующих инновационный потенциал предприятий. Важнейшим фактором, сдерживающим развитие конверсионного производства, является отсутствие эффективных механизмов финансирования инновационной деятельности со стороны государства, а также неразвитость финансового рынка и недостаточный объем собственных источников финансирования. Традиционные подходы к решению проблемы финансирования инновационной деятельности, осуществляемой в рамках государственного оборонного заказа, оказываются неприменимыми для конверсионного производства. Отсутствие четкой определенности в финансово-кредитной политике, дефицит собственных источников финансирования инноваций и низкая инвестиционная привлекательность предприятий ОПК определяют необходимость совершенствования форм и способов финансирования, обеспечивающих привлечение нетрадиционных для предприятий ОПК источников финансовых ресурсов. Оборонно-промышленный комплекс должен стать многопрофильным, диверсифицированным и интегрированным с гражданским сектором российской экономики, способным создавать и производить современные образцы вооружений, военной техники и высокотехнологического оборудования в соответствии с потребностями Министерства обороны, других силовых структур и отраслей промышленности и энергетики.

В настоящее время финансово-экономическое положение большинства предприятий оборонных отраслей поддерживается на минимально допустимом уровне в основном за счет выполнения экспортных заказов, а также заказов для топливно-энергетического комплекса и других отраслей экономики. Как следствие, предприятия используют в основном научно-технический и производственный задел прошлых десятилетий, их способность разрабатывать и выпускать конкурентоспособную продукцию снижается, что отрицательно сказывается на обороноспособности страны.

Если существенно увеличить спрос на высокотехнологичную продукцию гражданского назначения, создаваемую оборонными предприятиями, то развитие ОПК станет основой экономического развития России. Накопленные при этом научно-технический и производственно-технологический потенциалы позволят также обеспечить коренное обновление парка вооружения и военной техники.

Стимулирование дополнительного спроса на высокотехнологичную продукцию ОПК, в том числе для удовлетворения потребностей государства и наиболее ресурсообеспеченных отраслей отечественной экономики. При этом необходима ориентация на конкурентоспособную продукцию, которая будет пользоваться спросом на внутреннем и внешнем рынках и реализация которой даст возможность получать средства, необходимые для воспроизводства высоких технологий, для обновления основных производственных фондов.

Особое значение при разработке производственной программы и ее реализации имеет оптимизация структуры выпускаемой продукции на основе анализа покупательского спроса на конкретные виды товаров и услуг и учета ограничений по производственным мощностям, материальным ресурсам и потребности в отдельных товарах.

Выбор оптимальной производственной программы в первую очередь должен основываться на знании спроса на конкретные виды товаров и услуг. Отсюда очевидно, что спрос на конкретную продукцию выступает ограничением, которое определяется внешней средой и это необходимо учитывать при разработке производственной программы.

Общепринятым критерием оптимальности при формировании производственной программы предприятия является максимум прибыли от реализации продукции. Процесс определения оптимальных цен и объемов реализации находит свое отражение, прежде всего, в изменении веса отдельных видов продукции в общем объеме производства. Критерием изменения удельного веса отдельных видов продукции является показатель рентабельности продукции. При этом считается, что повышение в общем объеме реализации удельного веса более высокорентабельных изделий обеспечивает и наибольший размер прибыли.

Производственная программа предприятия, обеспечивающая максимальную прибыль от реализации продукции, как правило, не приводит к минимизации предпринимательского риска, связанного с деятельностью данного предприятия, что не обеспечивает максимально возможной эффективности производства.

Оптимальная с точки зрения эффекта структура выпускаемой продукции достигается при ориентации на прибыль от реализации продукции либо силу воздействия операционного рычага, а оптимальная с точки зрения эффективности – при ориентации на рентабельность продукции.

Основная цель предприятия и ее подразделений реализуется в результате выполнения производственной программы, которой определяется перечень изделий, их количество, сроки и стоимость изготовления. Основанием для формирования производственной программы является перспективный план продукции, разрабатываемый по результатам изучения конъюнктуры рынка и сбыта изделий в соответствии с профилированием предприятия, его подразделений и их развитием. Эта область работы относится к высшему звену управления, и ее можно отнести к стратегиче-

скому планированию. При разработке производственной программы формируются цели, определяются (если это необходимо) мероприятия по реконструкции предприятия и его подразделений или совершенствованию предприятия и управления производством, устанавливаются отношения с внешней средой по поставкам материалов, комплектующих изделий и т. д.

Производственные программы предприятия и цехов характеризуются многообразием форм, определенной периодичностью и деятельностью разработки. Вертикальный структурный разрез их состава представляет собой перечень последовательно разрабатываемых производственных программ и заданий от уровня организации, цеха до отдельных рабочих мест на участках и в бригадах.

Приведенная систематизация программ и производственных заданий соответствует практике работы машиностроительных предприятий и, поэтому, может служить основой для проектирования системы управления производством (см. таблицу).

Одной из основных задач в планировании производственной программы является формирование оптимального варианта производственной программы по объему и структуре работ, т. е. формирование портфеля заказов. Типовой постановкой задач такого класса является определение такого набора объектов в программу организаций и объединений, который соответствует объему и структуре ограниченных ресурсов (мощности производственных предприятий, мощностям специализированных организаций и др.) и обеспечивает максимальный ввод объектов в эксплуатацию.

Особое значение при разработке производственной программы и ее реализации имеет оптимизация структуры выпускаемой продукции на основе анализа покупательского спроса на конкретные виды товаров и услуг и учета ограничений по производственным мощностям, материальным ресурсам и потребности в отдельных товарах.

Выбор оптимальной производственной программы в первую очередь должен основываться на знании спроса на конкретные виды товаров и услуг. Отсюда очевидно, что спрос на конкретную продукцию выступает ограничением, которое определяется внешней средой, что необходимо учитывать при разработке производственной программы.

Экономическая сторона оптимальности планирования производственной программы заключается в определении комплекса задач, выборе и обосновании целей – критериев оптимальности.

Разработка производственной программы в составе перспективного и годовых планов включает решение комплекса задач на стадиях, обусловленных принятым порядком разработки плана, на нескольких иерархических уровнях и для большого числа исполнителей. Основными из них являются следующие задачи: формирование портфеля заказов, оптимального по объему и структуре работ; сбалансированность потребных ресурсов и мощностей исполнителей с планируемой программой (задача выравнивания мощностей); распределение программы работ по исполнителям в соответствии с их производственной мощностью; задачи оптимизации использования ресурсов во времени – задачи календарного расписания работ и ресурсов, к которым относятся определение оптимальной очередности строительства объектов (ракет, боевых машин и т. д.); задача равномерного распределения материально-технических ресурсов; расчет технико-экономических показателей на основе календарного расписания работ и ресурсов в соответствующих плановых временных периодах.

Задачи оптимизации производственной программы, решаемые в составе перспективного плана, обладают рядом специфических особенностей. В их постановке должно учитываться то обстоятельство, что основным фактором развития в перспективе выступает научно-технический прогресс, а не наличные ресурсы и их структура.

Несколько отличны от годового характер и степень детализации задач, решаемых в перспективном плане. Например, решается задача развития (прироста) производственных мощностей организаций, так как освоение капитальных вложений, выделяемых для этой цели, требует длительного промежутка времени. Решение задач календарного расписания на стадии перспективного планирования затруднительно.

Система производственных программ и заданий предприятия

Уровни управления программой	Задачи формирования производственной программы предприятия
Стратегическое планирование	Изучение конъюнктуры рынка и сбыта продукции в соответствии с профилированием предприятия. Формирование перспективного плана выпуска продукции
Управление производственной программой	Формирование производственной программы выпуска изделий. Распределение программы выпуска изделий по плановым периодам года для сборочных цехов. Расчеты календарно-плановых нормативов движения производства. Формирование номенклатурно-календарных планов выпуска ДСЕ для обрабатывающих и заготовительных цехов. Формирование производственных программ в цехах на квартал (месяц) и их распределение по участкам и бригадам
Оперативное управление производством	Формирование оперативно-календарных планов (графиков) запуска-выпуска ДСЕ на короткие плановые периоды. Формирование сменно-суточных заданий

Каждая из вышеуказанных локальных задач может иметь свой частный критерий оптимальности, в качестве которого может выступать и максимальная загрузка по времени, и минимизация простоев фронта работ, и минимизация отклонений расхода ресурсов от равномерного, и некоторые другие. Совокупность частных критериев оптимальности должна быть согласована между собой.

На практике система частных согласованных критериев оптимальности ранжируется в порядке определенной приоритетности и из нее выбирается один, получивший наивысшую оценку глобальный критерий в зависимости от его важности в конкретных производственных условиях.

В общем случае глобальным критерием оптимальности производственной программы является максимальный ввод в действие объектов при фиксированных ограничениях. Остальные критерии выступают как ограничения. Ограничения и критерии оптимальности могут меняться местами. Так, в некоторых задачах отдельные показатели планов (ввод в действие производственных мощностей и объектов, прибыль, повышение производительности труда и др.) могут выступать в качестве критериев оптимальности, в других задачах, связанных с рациональным использованием ресурсов, установленные сроки ввода в действие производственных мощностей и объектов являются ограничениями.

На практике выбирается один или несколько критериев, которые в наибольшей степени отвечают конкретным условиям и задачам производства. В случае использования нескольких критериев полученные оптимальные решения сравниваются, и выбирается окончательный вариант производственной программы.

Важным ресурсом, определяющим возможности по выпуску продукции, являются производственные мощности. Производственную программу разрабатывают в несколько этапов. Первый этап – определение максимально возможного объема продукции с имеющихся мощностей (площадей) с учетом ликвидации «узких мест» и недостатков в организации производства. Если полученный объем продукции окажется недостаточным для удовлетворения спроса на нее, то начинается второй этап, в ходе которого разрабатываются мероприятия по наращиванию производственных возможностей (площадей) за счет собственных финансовых средств и определяется возможный дополнительный объем производства продукции. Если и этот объем окажется недостаточным для удовлетворения спроса на продукцию, то начинается третий этап – разработка плана технического перевооружения и реконструкции предприятия. Такие мероприятия проводят не только при невозможности удовлетворения спроса, но и в случае низкого уровня технического развития производства, не обеспечивающего выпуск продукции, отвечающей современным требованиям к ней как по качеству, так и по себестоимости, материалоемкости, трудоемкости и другим технико-экономическим показателям.

В качестве критерия оптимальности чаще всего применяется максимум получаемой прибыли; в качестве ограничительных условий – наличные производственные ресурсы (оборудование, рабочая сила, материалы). Минимальный выпуск изделий может определяться заключенными контрактами на поставку продукции, максимальный – потребностью рынка с учетом планируемой доли организации. В качестве ориентира при установлении минимального выпуска конкретного вида изделий целесообразно использовать *критический объем продаж* – минимально необходимый объем производства (продаж) изделия, обеспечивающий его безубыточность.

При построении модели оптимальной программы, основанной на максимизации прибыли, прибыль на единицу изделия принимается постоянной. Между тем это допущение неправомерно, так как при колебаниях объема производства изменяются условно-постоянные расходы на одно изделие, его себестоимость, а следовательно, и прибыль. Игнорирование этой зависимости может привести к ошибочным решениям. Поэтому целесообразно при формировании оптимальной программы в качестве критерия оптимальности использовать максимум маржинального дохода. В отличие от прибыли маржинальный доход на единицу изделия является постоянной величиной при колебаниях объема производства в определенных пределах. При изменении объема производства изменяется общая величина маржинального дохода. При стабильности условно-постоянных расходов максимуму маржинального дохода будет соответствовать и максимум получаемой прибыли.

Выбор критерия оптимальности и ограничительных условий определяется конкретной производственной ситуацией и задачами организации в плановом периоде. При определенных условиях организация может отдать предпочтение максимизации объема производства (и следовательно, объема продаж), максимальному удовлетворению спроса и другим критериям. Во всех случаях, когда используется единственный критерий оптимальности, говорят о «локальной» оптимизации.

Помимо количественных необходимо учитывать и качественные критерии. С одной стороны, дополнительный выпуск изделий в период спада позволяет сохранить квалифицированные кадры. С другой стороны, необходимо проанализировать, не приведет ли временная реализация изделий по цене ниже себестоимости к снижению будущих рыночных цен и сокращению доходов организации в перспективе. Кроме того, следует проверить, как отразилось бы снятие с производства конкретного вида изделий на реализации других изделий.

Формирование программы, обеспечивающей максимальную прибыль, при наличии одного ограничивающего фактора, выполняется по следующему алгоритму:

1) рассчитывается величина маржинального дохода на единицу ограничивающего фактора (например, на один машино-час работы оборудования) по каждому виду изделий;

2) все виды изделий ранжируются в порядке убывания маржинального дохода на единицу ограничивающего фактора. Порядок расположения изделий соответствует их приоритетности для включения в программу;

3) в производственную программу включается первое изделие в объеме полной потребности и рассчитывается неиспользованный остаток по ограничивающему фактору. Затем включается следующее по приоритету изделие и так далее до тех пор, пока объем ограничивающего фактора не будет полностью исчерпан.

Полученная программа оптимизирована по максимуму прибыли. Так как условно-постоянные расходы не изменяются при колебаниях объема производства в определенных пределах, максимальному маржинальному доходу соответствует и максимум прибыли.

Библиографические ссылки

1. Пименов В. В. Модели преобразования российского ОПК в высокотехнологичный комплекс: механизмы реализации // Экономические стратегии / Ин-т эконом. страт. М., 2007. Вып. 7. С. 14–21.

2. Хайтбаев В. А. Системная сбалансированность – условие эффективного функционирования ОПК России // Проблемы современной экономики. СПб., 2006. Вып. 3 (19).

V. A. Levko, E. M. Sycheva

DEVELOPMENT OF PRODUCTION PROGRAM OF DIC ENTERPRISE: DISTINCTIVE FEATURES, RESTRICTIONS AND CRITERIA

The authors consider the distinctive features of elaboration of the optimum production program of DIC enterprises. The main tasks, criteria and restrictions are defined.

Keywords: production program, defense industrial complex.

© Левко В. А., Сычева Е. М., 2012

УДК 332.122

В. В. Медведев

ЭНЕРГОКОСМИЧЕСКИЙ КЛАСТЕР КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ

Кластерный подход создает условия для взаимодействия бизнеса и власти и обеспечивает повышение региональной и национальной конкурентоспособности. Формирование и развитие кластеров на базе предприятий ОПК, особенно в атомной энергетике и космической отрасли, где сохранился высокий уровень производства, наукоемкие технологии и высоквалифицированные кадры в настоящее время являются наиболее перспективным, так как задача государства не только сохранить, но и обеспечить их дальнейшее развитие в нужном направлении. Рассматривается новая форма организации предприятий ЗАТО – энергокосмический кластер.

Ключевые слова: кластер, кластерная политика, инновационные технологии, энергокосмический кластер.

В современных условиях предпосылкой устойчивого развития страны становится региональная экономическая интеграция и кластеризация, которые содействуют росту конкурентоспособности территории и обеспечивают устойчивое ее социально-экономическое развитие.

Основоположником кластерной теории считается профессор Гарвардской школы Майкл Портер. В своей книге «Конкуренция» он подчеркивает, что наличие устойчивой стратегии развития является одним из важных факторов для успешного развития кластера. По мнению Майкла Портера, кластеры являются организационной формой консолидации усилий заинтересованных сторон, направленных на достижение конкурентных преимуществ, в условиях становления постиндустриальной экономики. Определение кластера, предложенное М. Портером: «кластер – это группа географически соседствующих взаимосвязанных компаний и связанных с ними организаций, действующих в определенной сфере и характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга» [1].

Кластерная модель Портера используется при разработке экономической политики во всем мире.

В настоящее время процесс формирования кластеров в мире идет активно. По оценке экспертов, к настоящему времени кластеризацией охвачено около 50 % экономик ведущих стран мира. Данные по кластеризации экономики некоторых стран приведены в табл. 1.

Таблица 1

Страновое развитие кластеров

Страна	Количество кластеров	Страна	Количество кластеров
Великобритания	168	Нидерланды	20
Германия	32	США	380
Дания	34	Франция	96
Италия	206	Финляндия	9
Индия	106		

В США в рамках кластеров работает более половины предприятий, доля ВВП, производимого в них, превысила 60 %. В ЕС насчитывается свыше 2 000 кластеров, в которых занято 38 % его рабочей силы. Сотни городов и территорий имеют свои кластерные программы. В Канаде кластерную стратегию координирует Национальный исследовательский совет (НИС). Кластеры, сформированные при его участии, входят в межрегиональные сети [2].

В Норвегии, Швеции промышленность полностью кластеризирована. В Финляндии, где кластерная политика реализуется с 2000-х годов, страна занимает ведущие места в мировых рейтингах конкурентоспособности. За счет кластеров, отличающихся высокой производительностью, Финляндия, располагая всего 0,5 % запасов мировых лесных ресурсов, обеспечивает 10 % мирового экспорта продукции деревопереработки и 25 % бумаги.

На телекоммуникационном рынке она обеспечивает 30 % мирового экспорта оборудования мобильной связи и 40 % мобильных телефонов. Опыт Финляндии взят на вооружение северо-западными областями России.

На промышленные кластеры Италии приходится 43 % численности занятых и более 30 % объема национального экспорта. Успешно функционируют кластерные структуры в Германии (химия и машиностроение), во Франции (производство продуктов питания, косметики). Активно идет процесс формирования кластеров и в Юго-Восточной Азии и Китае, в Сингапуре (в области нефтехимии), в Японии (автомобилестроение). Типичный японский кластер сформирован из одного крупного головного предприятия и двух-трех уровней субподрядных фирм.

В Китае сегодня существует более 60 особых зон – кластеров, в которых находится около 30 000 фирм с численностью сотрудников 3,5 млн чел. и уровнем продаж на сумму примерно 200 млрд долл. в год.

Первые попытки внедрения кластерного подхода в экономику предпринимаются сегодня в странах СНГ. Например, согласно данным Международного фонда содействия рынку, на Украине сформированы и практически работают свыше 25 промышленных агломераций компаний и структур, которые взаимодействуют по схеме, близкой к кластерной.

К наиболее успешным (по объему выпускаемой продукции) следует отнести строительный и швейный кластер в городе Хмельницкий. До 2000 г. большинство кластеров специализировалось на производстве потребительских товаров и создавалось с целью повышения конкурентоспособности отдельных регионов и территорий. На рубеже XXI в. появились промышленные кластеры нового поколения, занимающиеся информатикой, дизайном, экологией, логистикой, производством биомедицинских препаратов и т. п.

Инновационная ориентированность кластеров постепенно возрастала, и сегодня она является определяющей конкурентоспособность кластерных образований, которые формируются в области техники и технологии производства, там, где ожидается «прорывное» продвижение [3]. Отраслевые направления кластеризации экономики отдельных стран Европы представлены в табл. 2.

Первоначально кластеры образовывались благодаря «невидимой руке рынка», прежде всего при модернизации ТНК. В настоящее время правительства многих стран стали создавать их в рамках государственно-частного партнерства, оказывая материальное и моральное содействие, в виде прямого финансирования, предоставления ссуд, целевых дотаций на научно-исследовательские разработки, создавая фонды внедрения инноваций, снижая, или освобождая от пошлин, предоставляя бесплатные услуги по патентованию и т. д. Большое внимание уделяется совершенствованию инновационной среды: технопаркам, бизнес-инкубаторам, региональным фондам и сети трансферта технологий.

Реализация кластерной политики в России затруднена в связи со сложившейся отраслевой структурой экономики, схемой размещения производительных сил и уровнем развития регионов. Несмотря на существующие проблемы, кластерный подход занял ключевые позиции как в стратегиях развития отраслей, так и в стратегиях (программах) социально-экономического развития субъектов РФ и муниципальных образованиях.

В соответствии с методическими рекомендациями по реализации кластерной политики в субъектах РФ Минэкономразвития РФ (29.12.2008 г. № 20615-ак/д19) «Территориальные кластеры – объединение предприятий, поставщиков оборудования, комплектующих, специализированных производственных и сервисных услуг, научно-исследовательских и образовательных организаций, связанных отношениями территориальной близости и функциональной зависимости в сфере производства и реализации товаров и услуг». При этом кластеры могут размещаться на территории как одного субъекта, так и нескольких субъектов Российской Федерации» [4].

Таблица 2

Отраслевые направления кластеризации экономики европейских стран

Страна	Отрасли
Швейцария, Финляндия	Электротехнологическая, связь, информатика
Норвегия, Франция, Германия, Великобритания, Нидерланды	Биотехнологии, биоресурсы
Дания, Швеция, Франция, Италия, Нидерланды	Фармацевтика, косметика
Финляндия, Бельгия, Франция, Италия, Нидерланды	Агропроизводство, пищевое производство
Швейцария, Германия, Бельгия	Нефтегазовый комплекс
Нидерланды, Италия, Германия, Норвегия, Ирландия, Швейцария	Машиностроение, электроника
Швеция, Дания, Швейцария, Нидерланды	Здравоохранение
Нидерланды, Норвегия, Ирландия, Дания, Финляндия, Бельгия	Коммуникации, транспорт
Норвегия, Финляндия	Энергетика
Финляндия, Бельгия, Нидерланды	Строительство, деволопмен
Швейцария, Австрия, Италия, Швеция, Дания, Финляндия	Легкая промышленность
Финляндия	Лесобумажная промышленность

В методических рекомендациях дается весьма важная для понимания функциональная типология формирующихся отечественных кластеров (с учетом отраслевой специфики):

1) дискретные кластеры включают предприятия, производящие продукты (и связанные услуги), предприятия машиностроительного комплекса, строительной отрасли. Как правило, такие кластеры состоят из малых и средних предприятий поставщиков компонентов;

2) процессные кластеры образуются предприятиями отраслей: химической, металлургической, целлюлозно-бумажной, сельского хозяйства, пищевой и др.;

3) инновационные и «творческие» развиваются в «новых секторах»: информационных и биотехнологиях, новых материалов, а также в сфере услуг, связанных с творческой деятельностью;

4) туристические кластеры формируются на базе туристических активов в регионе;

5) транспортно-логистические кластеры включают в себя комплекс инфраструктуры и компаний, специализирующихся на сопровождении и доставке грузов и пассажиров.

Кластеры смешанных типов сочетают признаки нескольких их типов.

Основным документом, который ориентирует регионы на формирование производственных кластеров, является Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации № 1662-р, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г., где предлагается формирование территориально-производственных комплексов, ориентированных на высокотехнологичные производства в приоритетных отраслях экономики [5].

В настоящее время ряд регионов России приняли Программы по формированию и развитию инновационных кластеров или созданию организационных структур по их развитию.

В России предшественниками кластеров были ТПК. В середине 70-х гг. XX в., когда традиционные формы отраслевого и территориального планирования и управления не обеспечивали высокую эффективность экономики, необходима была новая форма организации производительных сил, такой формой стали территориально-производственные комплексы (ТПК). ТПК – это планово формируемое сочетание технологически и экономически взаимосвязанных, пропорционально развивающихся на определенной территории производств и предприятий, использующих ее природные ресурсы и инфраструктуру. В Советском союзе был накоплен значительный опыт создания территориально-промышленных комплексов и успешного управления ими в рамках централизованной экономики. Образование ТПК было обусловлено как комплексной переработкой сырьевых ресурсов, так и реализацией многоотраслевых, региональных общегосударственных и научно-технических программ, направленных на решение важных проблем [6].

Красноярский край являлся экспериментальной площадкой нового подхода к развитию производительных сил – это был комплексный подход к размещению предприятий и развитию территории.

Территориальные инновационные промышленные кластеры имеют в своей основе определенную устойчивую систему распространения новых знаний, технологий, продукции вследствие того, что:

– фирмы – участники кластера – способны более адекватно и быстрее реагировать на потребности покупателей;

– участникам кластера облегчается доступ к новым технологиям, используемым на различных направлениях хозяйственной деятельности;

– в инновационный процесс включаются не только участники кластера, но и предприятия других отраслей;

– межфирменная кооперация позволяет сокращать издержки на НИОКР.

В России наиболее успешно сложились и развиваются кластеры автопроизводства. К ним в первую очередь относятся: Северо-Западный кластер близ Санкт-Петербурга (заводы Ford, Toyota, Hyundai, Nissan, GM, Suzuki), Центральный кластер близ Калуги и Москвы (Volkswagen, Peugeot-Citroen, Renault), а также Поволжский кластер (производство компании Sollers – бывшей «Северсталь-авто», «Иж-Авто», ГАЗ, ВАЗ и др.). Отмечается системный подход в развитии автомобильного кластера в Республике Татарстан в Особой экономической зоне «Алабуга» и «КИП-Мастер» в Набережных Челнах. Многое в этой инду-

стрии делается в партнерстве с предприятиями Турции. Автомобильный кластер формирует инновационный профиль экономики Самарской области, так как автомобилестроение – одна из основных отраслей региона.

В Калужской области автомобильный кластер начал формироваться в 2006 г. В кластер входят три автопроизводителя (VW, Peugeot и Mitsubishi) [7].

Формирование кластеров в фармацевтике получает все большее развитие. Так создан биофармацевтический кластер «Северный» на базе МФТИ. В БФК входят лидирующие отечественные фармкомпании: Центр высоких технологий «ХимРар», «Акрихин», «Протек», «Фармстандарт», «Ниопик», «Фармзащита», а также Фонд «Сколково», Институт медико-биологических проблем (ИМБП) и аэропорт Шереметьево, с помощью которого в страну ввозится материал для биотехнологических экспериментов. В 2008 г. было начато формирование биофармацевтического инновационного кластера в г. Бийске, включающего построение полного инновационного цикла – от исследований и разработок до производства наукоемкой продукции и услуг: лекарства, косметика, БАДы, «здоровая пища».

В области высоких технологий в августе 2011 г. в Москве начал работу «Инновационный кластер разработчиков технологий и приборов, обеспечивающих надежность, энергоэффективность и безопасность объектов техносферы» («ИК НЭБ»). Интегрировав усилия малых и средних предприятий города, он стал одним из первых инновационных кластеров, созданных в России в этой области. Создание кластера, инициированное самими инновационными компаниями, при поддержке Департамента науки, промышленной политики и предпринимательства Москвы и Межрегиональным центром промышленной субконтрактации и партнерства. Учредителями кластера стали: Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО», Московский институт энергобезопасности и энергосбережения, Научно-промышленный союз «Управление рисками, промышленная безопасность, контроль и мониторинг» («РИСКОМ») и Городское бюро экспертизы собственности. В настоящий момент в кластер входят более 30 компаний с общим оборотом свыше 1 млрд руб.

Проект «Создание Иркутского индустриального кластера высокотехнологичных материалов» реализуется в рамках утвержденной Правительством РФ Стратегии социально-экономического развития Сибири до 2020 г. Проект предполагает создание в городе Усолье-Сибирское Иркутской области комплекса современных производств высокотехнологичных материалов для полупроводниковой промышленности, солнечной энергетики, микро- и оптоэлектроники и других отраслей. Инновационные кластеры включают в себя компании, возникающие в процессе коммерциализации технологий и результатов научной деятельности, проводимых в вузах и НИИ. Например проект национального ядерно-инновационного центра, создаваемого в Димитровграде на базе НИИ атомных реакторов (НИИАР), предполагает, в частности, строительство первого в России многоцелевого быстрого исследовательского реактора, федерального высокотехнологичного центра медицинской радиологии и завода по производству радиофармпрепаратов. В апреле 2011 г. состоялось первое заседание совета кластера.

Из материалов Росатома следует, что ядерно-медицинские кластеры, помимо Димитровграда, предлагается создать в Северске (Томская область) и Протвино (Подмосковье). В Протвино предполагается создать первый в России медицинский ионный центр на базе Института физики высоких энергий. Медицинские, ядерные и энергоэффективные технологии предлагается также развивать в кластерах Сосновый Бор–Гатчина–Санкт-Петербург и Троицк–Дубна–Москва. В Снежинске (Челябинская область), где работает федеральный ядерный центр, рабочая группа предлагает развивать медицинские и информационные технологии.

В России процесс формирования кластеров находится в стадии становления. В стране насчитывается около 10 развитых кластеров и около 100 развивающихся. Становление и развитие кластеров осуществляется исключительно по инициативе региональных органов власти. В дальнейшем правительство намерено стимулировать развитие инновационных кластеров в отраслях с «прорывными технологиями».

Для формирования кластера необходимо наличие как минимум трех компонентов: фундаментальной практико-ориентированной науки, инновационной промышленности, развивающегося образования. Все это имеется в городе Железногорск, Красноярского края, где расположены стратегические предприятия ВПУ. Это единственный город России, где работают два крупнейших предприятия государственных корпораций «Росатом» и «Роскосмос». Эти предприятия стратегического назначения, обладают инновационными, наукоемкими технологиями и высококвалифицированными кадрами.

В скором времени город Железногорск станет центром инновационного кластера ядерных и космических технологий России. Здесь формируется энергокосмический кластер.

Приоритетным направлением деятельности ФГУ «ГХК», кроме совершенствования технологий обращения с отработанным ядерным топливом, является создание производства нового МОКС-топлива для реакторов на быстрых нейтронах. В перспективе доля электроэнергии, выработанной на атомных станциях России, должна составить не менее 20 % против 15 % в настоящее время. А также создание комплекса по радиационной обработке материалов (в том числе обеззараживание материалов медицинского назначения, пластиков в целях изменения их свойств и др.).

В состав данного предприятия в 2010 г. введен Завод поликристаллического кремния, объем производства которого в перспективе составит 7 200 тыс. тонн поликристаллического кремния в год. Имея первичное сырье – поликремний, технологии по глубокой переработке, научно-технический персонал и организационный потенциал, – целесообразно создание в

дальнейшем производства компонентов солнечной энергетики, что позволит значительно расширить продуктовую линейку с высокой добавленной стоимостью.

ОАО «Информационные спутниковые системы» – компания, являющаяся интегратором в сегменте непилотируемых космических аппаратов в РФ. В Железногорске ведется сборка спутниковых систем и наземного оборудования для запуска спутников. Здесь же размещаются элементы информационно-коммуникационной инфраструктуры.

Таким образом, создание высокотехнологичного энергокосмического кластера в городе Железногорске будет осуществляться на базе градообразующих предприятий ОАО «ИСС» и ФГУП «ГХК». Следует отметить, что кроме вышеназванных компаний, на территории ЗАТО действуют и другие достаточно значимые предприятия: Химический завод филиал ФГУП, Красноярский машиностроительный завод, основные направления деятельности которого услуги в аэрокосмической деятельности, производство криогенной продукции, производство изделий из полимеров и др. Основная деятельность ФГУП «Управление специального строительства по территории № 9 при Федеральном агентстве специального строительства России» – это выполнение строительно-монтажных работ на объектах оборонного значения, промышленного и жилищного строительства. За последние десять лет на территории создан целый класс достаточно современных компаний, которые не имеют отношения к исторической специализации ЗАТО. Сформировался новый межрегиональный кластер – производство современных строительных материалов и элементов на полимерных основах с использованием алюминия и других материалов.

Атомная и космическая отрасли являются приоритетными в стране. Глобальный характер конкуренции определяет «мощный заказ» с их стороны на инновации и кадры высокой квалификации. Исходя из сложившейся структуры экономики, город отвечает на глобальные требования конкурентоспособности. Экономический профиль города будет дополнен инновационными производствами специализированных материалов, в том числе производством элементов и модулей, сложными приборами оборонного и энергетического назначения. Особенностью данного кластера является наличие в его структуре гибких предпринимательских структур малого и среднего бизнеса, которые позволят формировать инновационные точки роста.

Центром, где будут разрабатывать и внедрять новые технологии, механизмы и оборудование по заказу базовых компаний, станет промышленный парк, который представляет собой две промышленные площадки: одна – вблизи градообразующих предприятий, вторая – за пределами города на площадке химического завода в поселке Подгорный. Предусматривается, что на территории парка будут реализовывать идеи, которые станут основой для создания инновационных предприятий малого и среднего бизнеса. Общая стоимость проектов в сфере космических и ядерных технологий инновационного кластера в городе Железногорске до 2020 г. составит более 110 млрд руб.

До конца 2011 г. планируется сформировать проект промышленного парка и разработать программы строительства и модернизации объектов энергоснабжения и транспортной инфраструктуры. Обязательства по созданию в городе необходимой инфраструктуры – от строительства дополнительных энергетических мощностей, дорог и нового жилья до современных досуговых центров – взяли на себя краевые и муниципальные власти. Структура энергокосмического кластера в городе Железногорске представлена на рисунке.

Научно-образовательный комплекс города Железногорска представлен Сибирским федеральными университетом (СФУ), Сибирским государственным аэрокосмическим университетом имени академика М. Ф. Решетнева, научно-исследовательским ядерным центром МИФИ, городской Школой космонавтики, где обучаются талантливые ребята со всего края. Решается вопрос создания образовательного центра на базе Сибирского федерального университета, Сибирского государственного аэрокосмического университета и колледжа НИЯУ МИФИ. Среди первых шагов по созданию парка, администрация выделяет обеспечение жильем молодых специалистов (строительство молодежного поселка).

В августе 2011 г. в Москве на заседании комиссии при Президенте РФ по ядерным технологиям, состоялась презентация Железногорского энергокосмического кластера. На заседании был утвержден состав Совета, в который вошли представители от органов исполнительной власти Красноярского края, глава ЗАТО города Железногорска, и руководители ОАО «ИСС» и ФГУП «ГХК». Возглавляет Совет заместитель руководителя аппарата Правительства.

Таким образом, кластеры являются инструментом пространственного развития регионов – это альтернатива отраслевой экономике. Создание инновационного энергокосмического кластера в городе Железногорске при активном сотрудничестве бизнеса и власти окажет положительное влияние на все сферы деятельности как города Железногорск, так и Красноярского края в целом. Создание промышленного парка на территории ЗАТО как генератора новых технологий на базе малых и средних предприятий, позволит региону с сырьевой экономикой перейти к созданию новой экономики, не связанной с использованием сырьевых ресурсов. Инвестиции как государственные, так и частные в развитие данного кластера обеспечат развитие не только промышленного комплекса, но и социальной сферы. Учитывая, что высокотехнологичные, наукоемкие производства данного кластера требуют соответствующую квалификацию кадров, требования которых к социальным услугам достаточно высоки. Создание условий для инновационного развития региона, развития экспортного (не сырьевого) потенциала обеспечит приток высококвалифицированных кадров и инвестиций на территорию города Железногорска и края.

Энергокосмический кластер в ЗАТО города Железногорск

Библиографические ссылки

1. Портер М. Конкуренция. М. : Вильямс, 2003.

2. Кластеризация – новое явление в мировой экономике и политике [Электронный ресурс]. URL: http//capital-rus/ru.

3. Тищенко А. Н. Теория и практика организации кластеров: зарубежный опыт [Электронный ресурс]. URL: http//www/nbuv.ru.

4. Методические рекомендации по реализации кластерной политики в субъектах Российской Федерации. Министерство экономического развития РФ № 20615-ак/д19 от 26 декабря 2008 г.

5. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: http/wwwekonomy.qov.ru.

6. Территориально-производственные комплексы. Совершенствование процесса формирования. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1986.

7. Развитие автомобильных кластеров в России [Электронный ресурс]. URL: Copright@Pro Town.ru.

V. V. Medvedev

POWER-SPACE CLUSTER AS A BASE OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE TERRITORY

Cluster approach forms the conditions for the interaction of business and authorities and provides the increase of regional and national competitiveness. Forming and development of the clusters on the base of the experimental industrial enterprises, especially in nuclear power engineering and cosmic branch, where the high level of production, high technologies and expert high-skill personnel are retained, is the most perspective now, because the objective of the state is not only to retain but to provide for further development in proper direction. The power space cluster as a new form of arrangement of enterprises in closed administrative territories is considered in the article.

Keywords: cluster, cluster policy, innovative technologies, power-space cluster.

© Медведев В. В., 2012

УДК 001.895

О. Е. Подвербных, Е. В. Гасенко

МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПЕРСОНАЛА НАУКОЕМКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассматриваются теоретические аспекты управления инновационным потенциалом персонала наукоемкого предприятия в современных условиях. Анализируется практика управления инновационным потенциалом персонала наукоемкого предприятия ОАО «Искусственные спутниковые системы». Предлагается механизм управления инновационным потенциалом персонала в совокупности с факторами, влияющими на его формирование и развитие.

Ключевые слова: инновации, инновационный потенциал персонала, наукоемкое предприятие, механизм управления.

Человечество вступило в новое тысячелетие на фоне нарастающих глобальных изменений, среди которых изменение человека; его развитие резко отстает от изменений в технико-экономической сфере. Одним из факторов глобального развития является накопление колоссального объема научной и технической информации, формирование на ее основе индустрии знаний. Происходит бурный рост инновационной экономики, признаком которой становится преобладание в приросте ВВП развитых стран стоимости, созданной в наукоемких отраслях, на наукоемких производствах, на основе новых наукоемких технологий, а также полученной за счет реализации товаров и услуг, содержащих новые знания и решения.

Принимая во внимание особенности наукоемких предприятий, а также требования, предъявляемые организациям в условиях современной экономики, можно сделать вывод о том, что для успешной работы наукоемкого предприятия необходимо постоянное развитие персонала, в частности его инновационного потенциала, так как рост и развитие производства зависит от способности персонала работать с нововведениями и продуцировать их самостоятельно.

В данном исследовании под инновационным потенциалом персонала авторы понимают меру готовности персонала к реализации комплекса задач, обеспечивающих функционирование предприятия в условиях инновационной деятельности, а также способность выполнять инновационные преобразования.

Инновационный потенциал персонала определяется:

а) отношением персонала к предстоящим и происходящим изменениям;

б) отношением руководителей к инновациям и их способностями к работе в изменившихся условиях;

в) состоянием процессов демократизации управления и информационного обеспечения инновации;

г) уровнем профессиональной и экономической подготовки персонала;

д) состоянием социально-психологического климата трудового коллектива;

е) степенью удовлетворенности новыми условиями, содержанием и оплатой труда [1].

В качестве цели управления инновационным потенциалом персонала авторы понимают не его максимизацию любыми средствами, а его оптимизацию, т. е. обеспечение оптимального уровня инновационного потенциала персонала, соответствующего условиям внедрения инновации.

В целях анализа практики использования человеческих ресурсов на отечественных наукоемких предприятиях, а также практики управления инновационным потенциалом персонала в рамках научного исследования кафедры МКПУ, СибГАУ, нами было проведено анкетирование трехсот сотрудников наукоемкого предприятия города Железногорска ОАО «ИСС».

Открытое акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева (ОАО «ИСС») – ведущее предприятие России в области разработки и изготовления космических комплексов связи, телевещания, ретрансляции, навигации и геодезии. Около 75 % всех запусков, осуществляемых в России, это спутники, созданные на ОАО «ИСС».

Основным конечным продуктом является космический аппарат, поэтому ОАО «ИСС» относится к материальному типу производства. Естественно, что в составе ОАО «ИСС» находятся энергетические, материальные, информационные подсистемы и предоставляющие услуги подразделения.

Количественный и качественный состав персонала ОАО «ИСС» представлен в таблице.

Приоритетной целью кадровой политики предприятия является формирование высококвалифицированного и мотивированного коллектива, способного повысить конкурентоспособность и укрепить лидирующие позиции предприятия на рынке спутниковых услуг.

Проведенный опрос сотрудников (рис. 1–4) позволяет авторам сделать вывод о том, что, несмотря на достаточно высокий кадровый потенциал, его реализация затруднена вследствие ряда причин, среди которых можно выделить практическое отсутствие эффективного механизма управления его формированием и реализацией, а также оценки эффективности управления потенциалом персонала. Это в ряде случаев не позволяет придать деятельности в данной сфере целенаправленный, последовательный характер, ориентированный на формирование стратегического человеческого потенциала организации – основы для формирования долговременных конкурентных преимуществ.

Количественный и качественный состав персонала ОАО «ИСС»

Списочная численность	7 127 чел.
Средний возраст	44 года
Количество молодежи до 30 лет	1 879 чел.
Принято молодых специалистов: в 2008 г. 2009 г. 2010 г.	 128 чел. 156 чел. 189 чел.
Кандидаты наук	43 чел.
Доктора наук	12 чел.
ПРОХОДЯТ ОБУЧЕНИЕ	
В вузах по целевому набору для ОАО «ИСС»	427 чел.
В вузах и колледжах заочно по направлению ОАО «ИСС»	56 чел.
В аспирантурах очно (заочно)	76 чел.
Прошли обучение по президентской программе	64 чел.
Прошли зарубежную стажировку по президентской программе	19 чел.
В системе подготовки и повышения квалификации работников предприятия прошли обучение в 2009 г.	2 021 чел. (29 % от списочной численности)

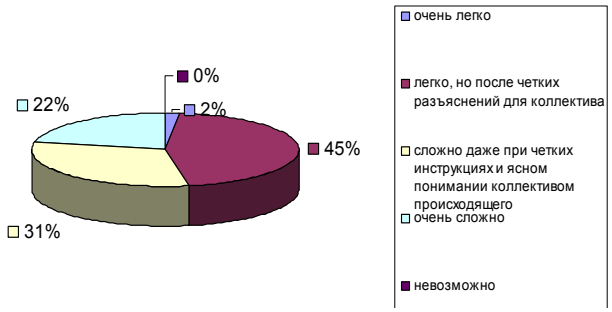


Рис. 1. Степень сложности реализации инноваций в организации

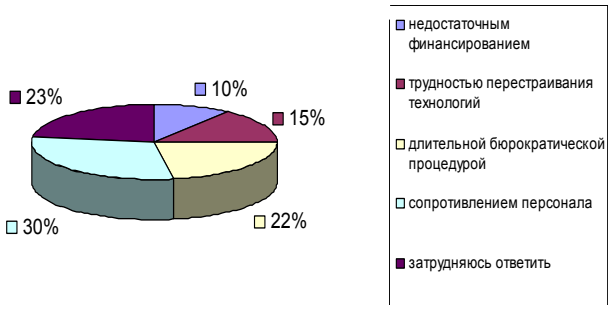


Рис. 2. Факторы, обусловливающие сложность реализации инноваций в организации

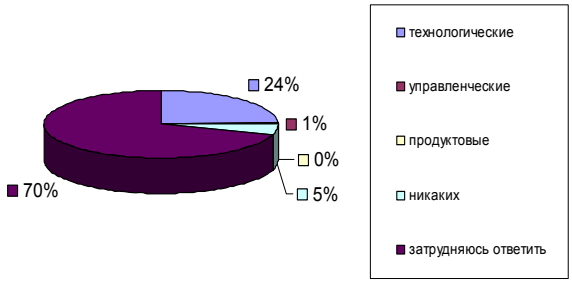


Рис. 3. Планируемые для ввода инновации в организации

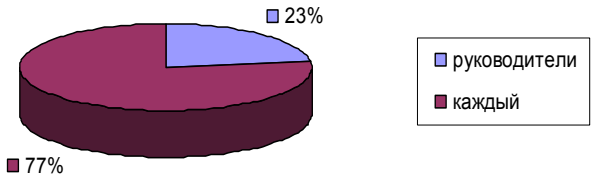


Рис. 4. Кто должен быть инициатором перемен в организации

Кроме того, результаты опроса позволяют идентифицировать отсутствие какой-либо системы работы с инновационной активностью персонала и развитие нновационного потенциала персонала на ОАО «ИСС». Существуют проектные группы, осуществляющие инновационную деятельность в организации, но пока инновации на некоторых уровнях (например, управленческий) реализуются в большей степени стихийно, нежели системно, и не существует отлаженного механизма, который позволил бы управлять этим процессом, а также инновационной активностью и потенциалом персонала организации.

В силу того, что вся деятельность предприятия направлена на создание технически сложных объектов, в виду быстрого развития и обновления технологий, специфической потребности предприятия в сотрудниках определенной квалификации, повышения социальной ответственности предприятия за увеличение потенциала своих работников – все эти факторы обусловливают значимость развития инновационного потенциала персонала для решения задач эффективного функционирования и обеспечения конкурентоспособности предприятия. Для этого требуется системный и упорядоченный подход к управлению инновационным потенциалом персонала, что обеспечивается выработкой определенного механизма управления им.

При формировании механизма управления инновационным потенциалом персонала требуется учесть

ряд общих и специфических для данной организации факторов, влияющих на ее функционирование, а также уделить особое внимание существующей системе обучения, переподготовки и повышения квалификации работников организации с тем, чтобы они обеспечивали развитие уровня инновационного потенциала персонала организации.

Проведенный анализ практики управления инновационным потенциалом персонала наукоемких предприятий, а также анализ теоретического материала по данному вопросу позволил авторам сформировать механизм управления инновационным потенциалом персонала. Нами было выделено шесть этапов управления и сформулировано их содержание (рис. 5).

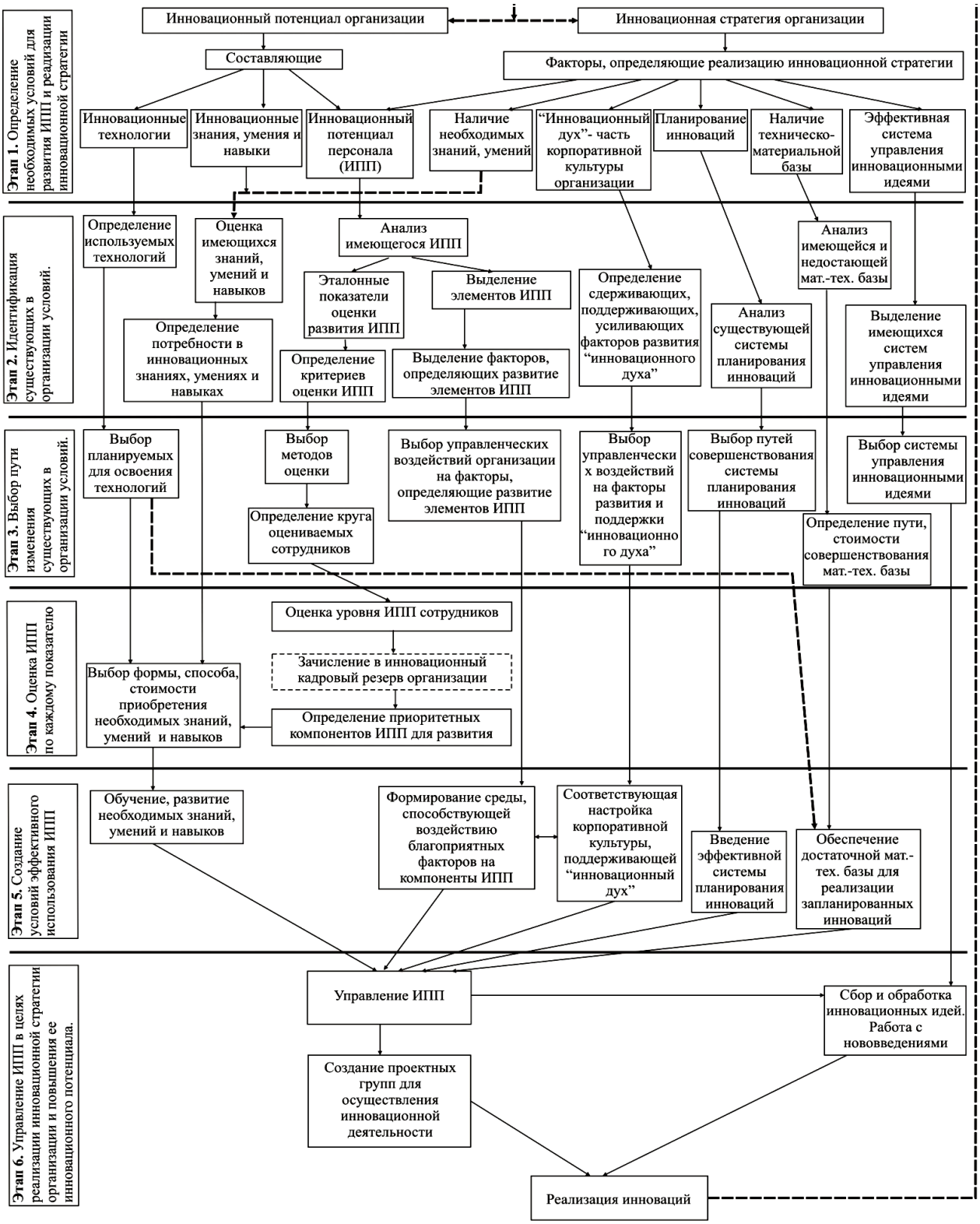


Рис. 5. Механизм управления инновационным потенциалом персонала

Этап 1. Определение необходимых условий для развития ИПП и реализации инновационной стратегии. На первоначальном этапе требуется оценить ситуацию и сделать вывод о том, какие из существующих элементов организации тесно связаны с инновационной деятельностью и влияют на процесс реализации инноваций в организации. У организации уже имеется какой-то инновационный потенциал и должна быть сформулирована инновационная стратегия, которая будет положена в основу формирования, развития, приращения инновационного потенциала персонала, с тем, чтобы в дальнейшем им управлять для реализации инновационной стратегии.

Этап 2. Идентификация существующих в организации условий. Все необходимые условия анализируются на предмет наличия, и оценивается их состояние. Этот этап необходим для того, чтобы понять, какие изменения требуется произвести для приведения этих условий в надлежащее состояние, которое позволит далее выбрать наиболее подходящий способ улучшения данных условий.

Этап 3. Выбор пути изменения существующих в организации условий. На данном этапе организация выбирает наиболее подходящие пути для совершенствования условий реализации управления инновационным потенциалом персонала и инновационной деятельности, исходя из имеющихся у организации ресурсов.

При определения круга оцениваемых сотрудников, возможно исходить из их вклада в конкурентоспособность организации, которая в условиях инновационной экономики определяется ее способностью к восприятию новых идей, систем и технологий, на готовность к их практической реализации.

Этап 4. Оценка ИПП по каждому показателю. Как видно из второго и третьего этапов, процесс оценки инновационного потенциала персонала организации состоит из следующих стадий: разработка системы показателей оценки, определение критериев оценки по данным показателям, определение круга оцениваемых сотрудников, их группировка, разработка инструментария оценки, разработка плана проведения оценки, сбор первичной информации, проведение итогового собеседования с сотрудником, подготовка и утверждение регламентирующих документов.

Служба персонала должна определить методы оценки каждого из выделенных показателей.

После проведения итогового собеседования комиссия может рекомендовать сотрудника к зачислению в инновационный кадровый резерв. Ряд авторов под инновационным кадровым резервом понимают группу работников, обладающих инновационным потенциалом, предназначенных для участия в инновационной деятельности организации. Работа с инновационным кадровым резервом обеспечивает совершенствование и развитие инновационного потенциала организации, становление и развитие инновационного потенциала работников, способных эффективно функционировать в условиях инновационной деятельности организации.

На данном этапе возможно существование двух видов кадрового резерва – традиционного и инновационного. Два вида кадрового резерва не существуют в инновационной организации обособленно – они дополняют и развивают друг друга. Взаимодействие кадровых резервов, проектных групп и подразделений инновационной организации отображено на рис. 6.

Рис. 6. Взаимодействие инновационного кадрового резерва и кадрового резерва с проектными группами и подразделениями организации

В дальнейшем при большем возрастании в организации инновационной деятельности, по сравнению с традиционной, инновационный кадровый резерв поглотит обычный кадровый резерв так же, как это происходило в инновационных западных компаниях, например в «3М».

При преобразовании традиционного кадрового резерва в инновационный, мы предлагаем использовать для него структуру, представленную на рис. 7.

Рис. 7. Формирование единого инновационного кадрового резерва

Критерий инновативности должен применяться ко всем категориям сотрудников в связи с тем, что с возрастанием доли инновационной деятельности в орга-

низации, требуется удовлетворить потребность в руководящих кадрах, владеющих новыми подходами к решению производственных и управленческих задач в современных условиях и организации более эффективной подготовки кадрового резерва, что позволит разрабатывать и внедрять оригинальные инновационные технологии на всех уровнях производства и управления.

По результатам итогового собеседования утверждается план работы сотрудника на следующий год, определяются приоритетные компоненты инновационного потенциала персонала для развития и выбирается форма, способ и стоимость приобретения необходимых знаний, умений и навыков.

Оценка инновационного потенциала сотрудников организации и его развитие в рамках инновационного кадрового резерва позволит сформировать из числа сотрудников организации такие проектные группы, или команды, которые будут иметь высокую степень готовности для проведения инновационной деятельности организации.

Этап 5. Создание условий эффективного использования ИПП. На данном этапе производится перестраивание всех существующих условий согласно выбранной стратегии; сотрудники приобретают необходимые знания, умения и навыки с тем, чтобы развить свой инновационный потенциал и быть способными к инновационной активности и деятельности.

Этап 6. Управление ИПП в целях реализации инновационной стратегии организации и повышения ее инновационного потенциала. На этапе управления инновационным потенциалом персонала создаются проектные группы для осуществления инновационной деятельности из числа сотрудников, зачисленных в инновационный кадровый резерв. При формировании проектной команды или группы важно оценить возможную роль резервиста в ней.

Наряду с формированием проектных групп, осуществляющих инновационную деятельность, ведется сбор и обработка инновационных идей, проводятся мероприятия по их реализации.

Таким образом, предложенный механизм управления инновационным потенциалом персонала способствует упорядочиванию и систематизации работы организации при развитии и использовании инновационного потенциала персонала, а также позволяет комплексно подойти ко всем процессам, протекающим в организации, оценить все имеющиеся факторы, способные влиять на эффективность использования инновационного потенциала персонала и создать все необходимые условия для того, чтобы это влияние было как можно более благоприятным и поддерживающим.

Библиографическая ссылка

1. Хадасевич Н. Р. Формирование инновационного потенциала персонала организации : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05. Сургут, 2008.

O. E. Podverbnykh, E. V. Gasenko

MECHANISM OF DISPOSAL OF INNOVATIVE POTENTIAL OF PERSONNEL AT A HIGH-TECH ENTERPRISE

Theoretical aspects of disposal of innovative potential of personnel at a high-tech enterprise in modern conditions are considered. The practice of disposal of innovative potential of personnel at JSC "ISS" is considered. A mechanism for disposal of innovative potential of personnel, in connection with factors influencing its formation and development, is offered.

Keywords: innovations, innovative potential of personnel, high-tech enterprise, mechanism of management.

© Подвербных О. Е., Гасенко Е. В., 2012

УДК 626

О. Е. Подвербных, М. А. Лячин

ЛОЯЛЬНОСТЬ ПЕРСОНАЛА КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

Рассматривается природа лояльности персонала в современной организации с целью повышения качества управления персоналом предприятия.

Ключевые слова: лояльность, персонал, экономика, управление, коллектив.

В условиях продолжающегося экономического кризиса правительство РФ выдвинуло программу выхода из него по пути модернизации экономики. Главная задача программы – переход на инновационную модель развития отечественного воспроизводства.

В рамках инновационной модели акцент делается на признании того, что основным источником общественного богатства становится человеческий капитал. При этом целью самого общественного производства становится накопление человеческого капи-

тала. И хотя прибыль всё ещё является основным экономическим показателем даже в тех странах с развитой рыночной экономикой, в которых уже 80 % прироста валового внутреннего продукта получают за счёт созданных новых знаний, материализованных в новых технологиях, методах организации производства и управления, в новых товарах и услугах, на первое место выдвигается прямо противоположная капиталистическому способу производства система распределения материальных благ. Если раньше распределение осуществлялось по силе капитала, то теперь – всё больше по творческим способностям членов общества.

Однако полная реализация творческих способностей индивидов зависит от многих факторов. Во-первых, творческие способности должны быть развиты. И это достигается, прежде всего, вложением средств в человеческий капитал по крупным направлениям: образование, здравоохранение, социальное обеспечение, общественная безопасность. Во-вторых, в обществе не только предприниматели должны быть открыты для восприятия новых коммерческих идей, но и каждый сотрудник фирмы должен быть заинтересован в генерации инноваций.

Источником инноваций выступают корпорации, фирмы, научно-исследовательские институты, вузы, венчурные фирмы, предприниматели малого бизнеса и т. п. Но инновационная модель развития экономики, и это следует особо подчеркнуть, реализуется при условии подключения к инновационному процессу всех членов общества. Изобретательство в инновационной модели развития выступает всеобщим явлением, как и товарно-денежные отношения, однако ведущее значение оно приобретает внутри производственного коллектива (персонала). И для того, чтобы открытость к инновациям дошла до самого нижестоящего сотрудника фирмы, необходимо обеспечить условия развития лояльных отношений внутри персонала.

Слово «лояльный» в переводе с французского и английского имеет два основных значения:

1) лояльный – человек, внешне сохраняющий верность по отношению к власти;

2) лояльный – добросовестно относящийся к кому-либо, к чему-либо.

Уважение к властям и верность действующим законам, т. е. законопослушность, мы оставляем в стороне. Сейчас нас интересует лояльность во втором его значении. При этом необходимо подчеркнуть, что предметом научного исследования является не лояльность отдельного индивида, а лояльность персонала как общественной структуры. Лояльность персонала есть специфическое социальное отношение, а не феномен, присущий отдельному индивиду. Конечно, понятно, что о лояльности нельзя мыслить отдельно от работников, являющихся её носителем, но лояльность персонала не сумма лояльностей индивидов, взятых в отдельности, а продукт их особого взаимодействия в составе персонала.

Современный бизнес, особенно бизнес инновационного типа, испытывает потребность в лояльности персонала. Многие современные компании сознательно стремятся к достижению высокой степени лояльности своего персонала, к бережному её сохранению и развитию. Поддержание лояльности персонала и её развитие должно опираться на понимание причин проявления лояльности персонала по отношению к своей фирме, причин её понижения, исчезновения и даже превращения в свою противоположность. Исчезновение лояльности не может быть нейтральным процессом: место лояльности занимает, в лучшем случае, активное безразличие к фирме, в худшем – враждебность к ней.

Научный подход к анализу источников лояльности персонала базируется на признании того, что, как уже отмечалось выше, лояльность персонала возникает во взаимодействии сотрудников фирмы. Это важно ещё раз подчеркнуть, так как в исследованиях, посвященных лояльности, нередко не проводятся различия между лояльностью работника как индивида и лояльностью персонала. Часто пишут, что каждый сотрудник при приёме на работу берёт на себя обязательство быть лояльным, т. е. обязательство хранить верность фирме, руководителю, делу. Получается, что сотрудник, подписав контракт, уже проявил готовность быть лояльным, и если он прилежно выполняет в процессе трудовой деятельности все требования контракта, то тем самым он де-факто является лояльным. Между тем в действительности работник становится лояльным, лишь вступая во взаимодействие с коллегами. Не случайно лояльность работника быстро проявляется по отношению к своему маленькому коллективу, группе, отделу, а ко всей фирме в целом работник может не проявлять лояльности. Этот факт свидетельствует о том, что на уровне фирмы в целом значительно труднее наладить взаимодействие членов персонала, чем на уровне группы, например отдела.

В связи с тем, что лояльность персонала выступает продуктом взаимодействия сотрудников фирмы, возникает вопрос о том, какой из известных типов взаимодействия сотрудников фирмы выступает источником лояльности ее персонала: отношения конкуренции или отношения трудовой состязательности.

Когда анализируют структуру лояльности персонала, то отмечают три её составляющих: лояльность к руководителю, фирме и делу. Считается, что на первом месте всегда находится хозяин, потом – процветание фирмы, затем – сама сфера деятельности предприятия. Для фирмы, открытой инновациям, первостепенное значение имеет лояльность персонала к сфере деятельности фирмы. И вот в связи с этим существенное значение приобретает ответ на сформулированный вопрос. Остановимся на этом подробнее.

Конкурентные отношения – необходимая черта рыночной экономики. Именно безличное давление конкуренции на товаропроизводителей изменило роль техники. Конкуренция привела к тому, что наука и техника стали составлять основу каждодневного существования. Чтобы устоять в конкурентной борьбе, в «войне всех против всех», каждый товаропроизводитель вынужден был применять технику, постоянно

думать об её усовершенствовании или изобретать новую, чтобы уменьшить издержки производства товаров, дав им превосходство над конкурирующими. Конкуренция и погоня за прибылью революционизировали технический способ производства, обеспечили непрерывный технический прогресс. Но если конкурентные отношения способствуют развитию НТП и тем самым создают материальные предпосылки для инновационного типа развития экономики, то это ещё не означает, что они являются источником лояльности персонала. Наоборот, конкурентное капиталистическое производство вместо лояльности порождает отчуждённость персонала от интересов фирмы, да и от участия в техническом прогрессе.

Поскольку инновационный тип развития экономики предполагает заинтересованность в производстве и реализации инновационных идей не только предпринимателей, но всех участников общественного производства, постольку предполагается преодоление в той или иной мере отчуждённости персонала от сферы деятельности предприятия. В таком случае требуется заменить конкурентные внутрифирменные отношения отношениями трудовой состязательности.

В настоящее время в развитых странах с рыночной экономикой хорошо развит малый бизнес, который не только производит товары и услуги, но и выступает мощным генератором инновационных идей и изобретений. Малый бизнес как источник инноваций является таковым потому, что именно в этой сфере произошло преодоление отчуждения производителя от собственности и самой деятельности. Не случайно в последние годы в западных странах обнаруживается падение престижности трудиться в крупной корпорации. Квалифицированные работники часто переходят на малые предприятия или открывают собственный бизнес.

Конкурентные отношения, как известно, носят безличный характер. Агенты конкурентных отношений руководствуются в своих действиях не гуманностью, а выгодой и собственным интересом, измеряемым богатством. И хотя конкурирующие между собой субъекты рыночных отношений изобретательны, инициативны, обладают пытливым умом, в целом процесс изобретений и использования новых технологий находится под толстым покровом коммерческой тайны, обратной стороной которой является промышленный шпионаж.

Таким образом, конкуренция не только способствует техническому прогрессу и созиданию общества, но и порождает разрушительные формы и методы конкурентной борьбы. И только государственные законы обуздывают враждебный характер конкуренции и в интеллектуальной, изобретательской сфере. В настоящее время в развитых странах уже создана и функционирует сложнейшая система юридической защиты прав собственности на интеллектуальные продукты. И всё же никакими правовыми ограничениями невозможно преодолеть внутренние пороки конкурентных отношений.

В настоящее время разрушительный характер конкуренции встаёт на пути технического прогресса, а потому сама экономика ищет собственные способы их замены более совершенными производственными отношениями. Речь идёт о возникновении в развитых рыночных странах отношений взаимодействия и сотрудничества между предприятиями, не свойственных конкуренции с её антагонизмом. Важная особенность вышеназванного взаимодействия – предварительное согласование участниками в договорном порядке условий совместной деятельности. При этом часто договорные связи носят не разовый, а долговременный характер. Таким образом, создаётся ситуация взаимозависимости между хозяйствующими субъектами, противоположная той, которая присуща конкуренции. Участники кооперации заинтересованы в том, чтобы результаты хозяйственной деятельности были как можно лучше, так как от кооперации выигрывают все её участники: на базе специализации внутри кооперации снижается капиталоёмкость и ускоряется выпуск товаров. Кроме того, одним из важных следствий развития отношений взаимодействия и сотрудничества вместо конкуренции является расширение поля для планомерности.

Таким образом, в недрах развитых отношений зарождаются и функционируют отношения между агентами рыночной экономики, прямо противоположные отношениям конкуренции. Новые отношения обозначаются как отношения партнерские и контрактные (договорные). Переход к подобного рода отношениям знаменует собой глубинный переход от преимущественно репродуктивного к преимущественно творческому (инновационному) содержанию деятельности.

Творческий характер трудовой деятельности находит свое полное развитие в связи с возникновением особого типа трудовой организации, получившей название добровольной работающей ассоциации. Мы исходим из того, что лояльность персонала зарождается именно в таком типе социальной общности.

Если речь идет о лояльности персонала как ассоциации, то ясно, что качественные характеристики персонала должны не только допускать возможность возникновения лояльности персонала, но и создавать условия для ее развития. Иными словами, сама лояльность персонала становится принципом жизнедеятельности ассоциации как общественной формы.

Все существенные характеристики трудовой общности, в которой возникает лояльность персонала, в исходном плане выводятся из того, что она является добровольно работающей ассоциацией, в которой преодолено отчуждение трудового коллектива от производственной деятельности и его результатов. Речь идет о том, что деятельность персонала строится на основе интеграции труда, управления и собственности на факторы производства и его материальные результаты.

Лояльность персонала в полную меру может получить развитие в границах добровольной ассоциации трудящихся, в которую индивиды включаются не под давлением внешних обстоятельств (конъюнктуры рынка или власти иерархии), а самостоятельно, с це-

лью реализации своих личных интересов, но таких, которые невозможно претворить в жизнь иначе как совместно и в добровольном союзе. Кроме этого, в добровольной ассоциации трудящихся меняется содержание труда. Последний превращается в труд творческий, в деятельность по саморазвитию индивидов. Поскольку саморазвитие членов ассоциации осуществляется в процессе сотворчества, диалога (субъект-субъектного отношения) между членами добровольной ассоциации, постольку лояльность персонала необходимо возникает внутри диалогических отношений [1].

Однако в современных условиях персонал предприятия не представляет собой в чистом виде свободную ассоциацию индивидов. Напротив, персонал современных фирм является противоречивым соединением рыночных, бюрократических начал и элементов добровольной ассоциации. Поэтому лояльность персонала, связанная с элементами добровольной ассоциации, должна быть отнесена к становящемуся социальному явлению. Следовательно, непосредственным предметом исследования выступает процесс ее генезиса и формирования в соответствии с нарастанием в современном производственном коллективе отношений добровольной ассоциации.

Поскольку отношения внутри современных корпораций представляют собой, как уже отмечалось, противоречивое соединение рыночных, бюрократических начал и элементов добровольной ассоциации, постольку формирование лояльности включает в себя два процесса: преодоление отношений отчуждения работников от труда и создание условий для развертывания отношений добровольной ассоциации. Трудность заключается в том, что действительная творческая трудовая ассоциация характеризуется открытостью, а поэтому преодоление отношений отчуждения в закрытой трудовой организации не тождественно преодолению отношений отчуждения в открытой организации. Например, система пожизненного найма в Японии может рассматриваться как пример преодоления отношений отчуждения в закрытой организации, что долгое время позволяло японцам производить высококачественную продукцию. Однако в настоящее время экономика Японии испытывает трудности, и некоторые экономисты видят причину этого в системе пожизненного найма рабочих. Между тем, в специальной литературе распространена точка зрения, согласно которой лояльность работника рассматривается как инструмент закрепления сотрудников за данным предприятием, и в связи с этим мера лояльности сводится к текучести кадров. Считается, что низкая текучесть кадров есть показатель высокой лояльности (приверженности) персонала к своей фирме.

Исследование зависимости лояльности персонала от вида взаимоотношения внутрипроизводственного коллектива следует отнести к малоразработанному научному направлению в раскрытии содержания названного понятия. В данной статье мы выдвигаем положение, согласно которому лояльность персонала принимает различные формы в зависимости от различных видов внутрифирменных производственных отношений. В связи с этим процесс формирования лояльности персонала приобретает специфику в зависимости от типа взаимодействия сотрудников предприятия, а сам процесс выступает как диалектический, т. е. находящийся в развитии и имеющий определенные закономерности. Общее представление о зависимости форм лояльности от различных видов взаимодействий персонала фирмы представлено в таблице.

Обозначенные в таблице виды взаимодействия, во-первых, развиваются от простых видов к сложным, во-вторых, каждый вид взаимодействия выступает источником особого вида лояльности персонала. При этом возникновение той или иной формы лояльности детерминируется рядом закономерностей, которые необходимо знать, чтобы эффективно управлять процессом развития лояльности персонала.

Исследования лояльности персонала показывают, что она возникает и исчезает при наличии определенных условий. Следовательно, лояльность персонала нужно трактовать как процесс, подчиняющийся определенным закономерностям. Для целей нашего исследования укажем на некоторые из них.

Зависимость лояльности персонала от вида взаимодействия сотрудников фирмы

Виды взаимодействия	Качество взаимодействия	Виды лояльности персонала
Полемическое взаимодействие – борьба до победы одного над другим	Индивидуализм, конкуренция. Жизненное кредо: «Жить для себя». Пословица: «Каждый – за себя, один бог – за всех»	Возможны антилояльные действия: бунт, саботаж, итальянская забастовка. Лояльность нулевая. Аналогия: «добрачные отношения с организацией»
Дискуссионное взаимодействие – подразумевает заинтересованность оппонентов в привлечении противника в споре на свою сторону, стремление убедить в своей правоте	Партнерство, состязательность (соревнование). Жизненное кредо: «Жить для других». Пословица: «Договор дороже денег»	Лояльность идентификационная. Аналогия: «брак с организацией по расчету, по контракту»
Диалогическое взаимодействие – означает обмен знаниями, ценностями, переживаниями	Коллективность, взаимопомощь. Жизненное кредо: «Жить ни для себя, ни для других, а вместе со всеми». Пословица: «В тесноте, да не в обиде»	Совершенная лояльность. Аналогия: «брак с организацией по любви»

Первая закономерность формирования лояльности персонала связывается с тем, что лояльность есть процесс, находящийся в развитии, а следовательно он имеет этапы становления, зрелости и угасания. Особую трудность для менеджмента предприятия представляет этап становления лояльности персонала. Этапность развития лояльности персонала следует относить к первой закономерности ее формирования.

Второй закономерностью формирования лояльности персонала является логическая последовательность ее осуществления: каждый этап последовательно сменяет другой и создает предпосылки к развертыванию содержания последующего.

К *третьей закономерности* мы относим наличие взаимосвязи между конкретными источниками отношений лояльности персонала и формами лояльности: качественно определенная основа лояльных отношений вызывает к жизни свою форму проявления лояльности персонала.

И, наконец, к *четвертой закономерности* мы относим недопустимость в процессе формирования лояльности персонала:

а) отрыва формы лояльности от ее основы как источника лояльности;

б) перескакивания от одной формы лояльности к другой, минуя посредствующие звенья.

Учет четвертой закономерности особенно важен для сознательного формирования лояльности персона и управления данным процессом.

В сжатом виде суть новой трактовки процесса формирования лояльности персонала сводится к следующему. Поскольку лояльность персонала возникает, приобретает степень развитости и исчезает, то главный вопрос сводится к установлению источника (или основы) лояльности персонала в трех основных видах:

– отношения социальной конфронтации (полемика);

– отношения социальной дискуссии (договорные партнерские отношения);

– отношения социального диалога (взаиморазвитие сторон отношения).

Более конкретное исследование закономерностей формирования лояльности персонала требует подключения к их анализу современные модели человека. В настоящее время в социологической науке модельный способ анализа считается наиболее продуктивным, поскольку позволяет изучить важные закономерности и взаимосвязи явлений и процессов общественной жизни. При анализе социально-экономических систем управления используются различные модели человека. Основные из них – модель экономического человека, модель неэкономического человека, модель социального человека и модель психологического человека.

В условиях инновационной экономики наука испытывает потребность в создании такой комплексной модели человека, которая позволила бы управлять поведением человека с учётом не только экономических, но и социальных, политических, психологических, религиозных, правовых, этических, экологических и иных факторов жизнедеятельности.

В нашей научной литературе уже имеются предложения по разработке комплексной модели человека. Использование модельного способа при изучении лояльности персонала окажется эффективным, если лояльность, в свою очередь, будет введена в структуру современной модели человека в качестве системной составляющей. Последнее требует более глубокой научной разработки комплексной модели современного человека.

Библиографическая ссылка

1. Бузгалин А., Колганов А.. Потенциал марксистского метода: новые ответы на вызовы социально-экономических проблем XXI в. М. : МГУ, 2004.

O. E. Podverbnyh, M. A. Lyachin

LOYALTY OF PERSONNEL AS A BASE FACTOR OF INNOVATIVE ECONOMY DEVELOPMENT

The authors consider loyalty of personnel in a modern organization, for the purpose of improvement of quality of enterprise personnel disposal.

Keywords: loyalty, personnel, economy, management, collective.

© Подвербных О. Е., Лячин М. А., 2012

УДК 332.13

Г. И. Поподько

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ФАКТОРОВ СОЗДАНИЯ КРАСНОЯРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Проанализированы условия создания городских агломераций как перспективной формы территориальной организации производства, определены преимущества и риски процесса агломерирования. Рассчитан коэффициент сложности для Красноярской агломерации. Предложен метод и выполнена экспертная оценка возможностей и ограничений создания Красноярской агломерации.

Ключевые слова: устойчивое социально-экономическое развитие, территориальная организация, агломерация.

Переход экономики региона от экспортно-сырьевой специализации к устойчивому социально-экономическому развитию определяет необходимость поиска новых форм территориальной организации производства, которая позволяет использовать преимущества сложившегося территориального размещения и создать на их основе производственные связи, дающие максимальных коммерческий и социальный эффект.

Как определено в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г., «обеспечение сбалансированного социально-экономического развития регионов как один из целевых ориентиров социально-экономического развития Российской Федерации требует синхронизации таких направлений региональной политики, как:

– стимулирование экономического развития путем создания новых центров экономического роста в регионах на основе конкурентных преимуществ;

– координация инфраструктурных инвестиций государства и инвестиционных стратегий бизнеса в регионах с учетом приоритетов пространственного развития и ресурсных ограничений, в том числе демографических;

– сокращение дифференциации в уровне и качестве жизни населения в регионах с помощью эффективных механизмов социальной и бюджетной политики» [1].

Все названные принципы реализуются в условиях агломерации, которая является одной из наиболее перспективных форм организации производства и сбалансированного социально-экономического развития территорий.

Необходимость развития агломераций отмечена в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г.: «Региональное развитие будет определяться в основном уже сформировавшимися зонами опережающего экономического роста, к которым относятся крупнейшие агломерации с наиболее динамичным экономическим ростом, обеспечивающим приток населения и инвестиций» [1].

Создание городских агломераций преследует цель обеспечения комплексного социально-экономического развития территорий, снижения дифференциации в уровне развития производства и благосостояния населения.

Несмотря на значительное количество городских агломераций, сформировавшихся в последние годы (более 30 заявленных и действующих документально по состоянию на 2010 г.), большинство вопросов методологического характера, связанных с необходимостью создания, эффективного функционирования, управления и оценки социально-экономического значения, являются не до конца исследованными. По этой причине значительное количество городских агломераций остаются лишь «на бумаге».

Теория городских агломераций получила широкое развитие в СССР в начале 70-х годов прошлого столетия. Тогда появились работы М. К. Бандмана, В. А. Ильина, Г. М. Лаппо, Р. Ю. Малышевой, Е. Н. Перцика, С. А. Селяковой и др. В последние годы эта тема активно обсуждается в экономической литературе. Следует отметить работы Э. Бозе, Е. С. Губановой, В. Желтикова, Н. Кузнецова, А. Нещадина, А. Прилепина, С. Тяглова и др.

Существует немало определений городских агломераций. Все они в основном определяют городскую агломерацию как компактное скопление населённых пунктов, главным образом городских, местами срастающихся, объединённых в сложную многокомпонентную динамическую систему с интенсивными производственными, транспортными и культурными связями [2].

Однако по нашему мнению, в таком определении не существует основного признака агломерации – необходимости такого объединения, которая возникает на определенном уровне развития общественных производительных сил и является объективным условием территориального развития. В этом случае более точным является определение Е. Н. Перцика, где автор определяет городскую агломерацию как систему территориально сближенных и экономически взаимосвязанных населенных мест, объединенных устойчивыми трудовыми, культурно-бытовыми и производственными связями, общей социальной и технической инфраструктурой. Это качественно новая форма расселения, она возникает как приемник города в его компактной (автономной, точечной) форме, особый продукт современной урбанизации [3].

Следует отметить основные признаки агломерации [2; 4]:

– компактность;

– наличие транспортных коридоров;

– доступность;

– концентрация промышленного производства и трудовых ресурсов;

– высокая плотность населения;

– тесные экономические связи;

– тесные трудовые связи;

– тесные культурно-бытовые и рекреационные связи;

– тесные административно-политические и организационно-хозяйственные связи;

– высокий уровень функциональной связанности;

– целостность рынков труда, недвижимости, земли;

– правовая самостоятельность поселений;

– многокомпонентность.

Различают моноцентрические (сформировавшиеся вокруг одного крупного города-ядра) и полицентрические агломерации (имеющие несколько городов-ядер).

Особая роль городской агломерации как формы территориального объединения на основе производственных, научных, инфраструктурных, социальных связей заключается, по нашему мнению, в формировании нового конкурентоспособного потенциала объединенных территорий, который определяет достаточно высокий уровень развития производительных сил и способствуют формированию качественно более высокого уровня жизни населения.

Это происходит, во-первых, благодаря высокой степени концентрации и диверсификации производства, что обусловливает его максимальную эффективность; во-вторых, из-за более рационального использования квалифицированных кадров, возможности ускоренного наращивания человеческого капитала; в-третьих, путем установления тесных связей производства с наукой и учебными центрами; в-четвертых, при максимально эффективном использовании систем производственной и социальной инфраструктуры.

Однако наряду с положительным эффектом процесс агломерирования может нести в себе риски, к которым относятся следующие: потеря экономической самостоятельности входящих в агломерацию муниципальных образований; использование прилегающих к крупным городам сельских земельных территорий в основном для расселения городских жителей; сокращение бюджетных поступлений в сельских муниципальных образованиях; отток трудоспособного населения в города; вынос экологически «грязных» производств в пригороды; ухудшение экологической обстановки сельских территорий и др. Поэтому вопрос образования агломерации предполагает серьезное изучение внешних и внутренних факторов, влияющих на этот процесс, а также угроз и выгод процесса агломерирования.

Красноярский край характеризуется крайней неравномерностью территориального социально-экономического развития. Уровень развития производства обусловливает условия для социально-экономического развития муниципальных образований, которое находит выражение в уровне жизни проживающего на его территории населения.

Для Красноярского края характерна резкая дифференциации уровня жизни населения различных муниципальных образований (табл. 1).

Как следует из анализа табл. 1, более высокий уровень жизни сложился в крупных городах Красноярского края – Красноярске и Норильске. Для сельских районов края характерен в основном низкий уровень жизни.

В целом распределение муниципальных образований по уровню социально-экономического развития характеризуется пропорциями, представленными на рисунке.

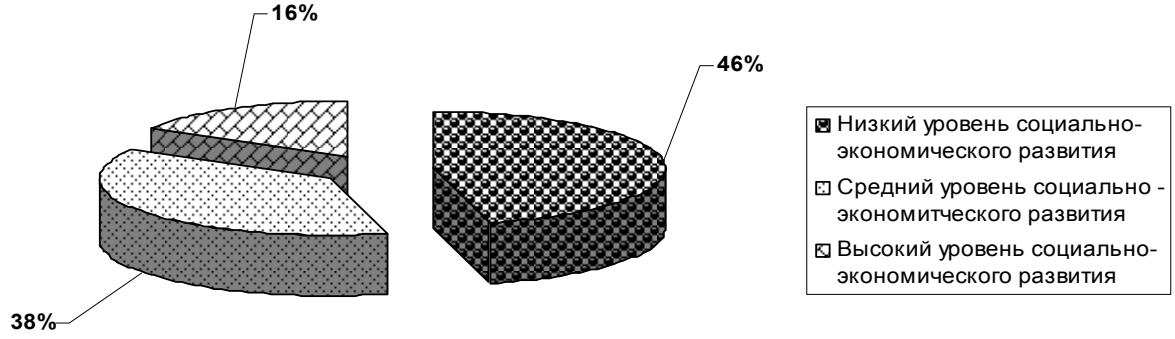
Распределение муниципальных образований по уровню социально-экономического развития показывает, что для наибольшей его доли – 46 % от общего числа, характерен низкий уровень социально-экономического развития, и только для 16 % от общего числа муниципальных образований характерен высокий уровень социально-экономического развития.

Районы с низким уровнем социально-экономического развития являются депрессивными. К ним относятся сельскохозяйственные районы края и районы и города, где прекращена добыча полезных ископаемых и закрыты крупные промышленные предприятия.

Таблица 1

Дифференциация уровня жизни населения Красноярского края (по состоянию на 2009 г.)

Показатели	Красноярский край	Максимальное значение показателя	Минимальное значение показателя	Соотношение max/ min
Смертность (на 1 000 чел.)	13,0	22,3 Большеулуйский район	5,5 г. Норильск	4 раза
Младенческая смертность (на 1 000 чел.)	10,4	30,1 Каратузский район	4,6 г. Норильск	6,5 раза
Среднемесячная заработная плата (руб./чел.)	20 277	44 385 г. Норильск	9 250 Канский район	4,8 раза
Обеспеченность врачами (на 10 000 чел.)	51,2	77 г. Красноярск	5 Ачинский район	15,4 раза
Розничный товарооборот (руб./чел.)	95 540	175 620 г. Красноярск	18 270 Канский район	9,6 раза
Число преступлений (на 100 000 чел.)	2 731	4 166 г. Красноярск	1 160 Пировский район	3,6 раза



Распределение муниципальных образований Красноярского края по уровню социально-экономического развития (2009 г.), %

Наличие столь значительного количества депрессивных районов не может не вызывать опасения. Необходимы мероприятия по совершенствованию территориальной организации производства края, обеспечивающей сбалансированное развитие, производственную кооперацию отраслей экономики, интеграцию производств и создание новых направлений производственной специализации, рост благосостояния населения и увеличение налоговых поступлений в бюджетную систему.

Для решения названных проблем в 2008 г. было принято соглашение о создании Красноярской агломерации, куда вошли семь муниципальных образований: городские округа – Красноярск, Сосновоборск, Дивногорск и четыре района – Емельяновский, Манский, Сухобузимский, Березовский. Данная агломерация является моноцентрической. Ядро агломерации – г. Красноярск.

Принятое соглашение не привело к созданию жизнеспособной производственной и социально-экономической системы, которая позволила бы решить проблемы как городских округов, так и сельских районов, входящих в состав агломерации. Причина этого во многом кроется в отсутствии научно обоснованного подхода к процессу агломерирования.

Прежде всего, необходимо рассчитать коэффициент сложности Красноярской агломерации, который характеризует оценку уровня ее развития [3].

Он зависит от численности населения агломерации, числа городов и поселков городского типа и их доли в суммарной численности населения агломерации и рассчитывается по формуле

$$K\varsigma = P\left(M \cdot m \oplus N \cdot n\right),$$

где $K\varsigma$ – коэффициент сложности агломерации; P – численность населения агломерации; M и N – количество городов и поселков городского типа; m и n – доля городов и поселков городского типа в общей численности населения агломерации.

Уровень развития агломерации определяется согласно приведенным критериям [3] (табл. 2).

По состоянию на 01.01.2010 г. численность населения Красноярской агломерации (P) равняется 1 155 477 чел. Число городов (M) равняется 3. Число поселков городского типа (N) равняется 3. Значение коэффициентов m и n равняется 88,6 и 3,3 % соответственно. Таким образом, значение коэффициента уровня развития агломерации $\left(K\varsigma\right)$ составляет 3,16, что свидетельствует о слаборазвитом уровне агломерации (II класс сложности). Таким образом, агломерация находится на начальной стадии своего формирования, и необходимо изучить условия и препятствия для ее дальнейшего развития.

Таблица 2

Градация агломераций по сложности

Градации	Значение $K\varsigma$	Класс сложности
Перспективные	до 1	0
Развивающиеся	свыше 1 до 3	I
Слаборазвитые	свыше 3 до 7	II
Развитые	свыше 7 до 14	III
Сильно развитые	свыше 14 до 50	IV
Наиболее развитые	более 50	V

Основная цель создания Красноярской агломерации состоит в формировании единой экономической и социальной системы городов и районов, входящих в ее состав за счет наращивания производственного потенциала, создания общей логистической и транспортной системы, формирования новой градостроительной политики, организации системы подготовки и мотивации кадров, отвечающей экономическим потребностям агломерации, развития производственной и социальной инфраструктуры.

Административное объединение 7 муниципальных образований в агломерацию рассматривается под углом формирования оптимальной пространственной модели, учитывающей социальные, экономические и инфраструктурные особенности вошедших в ее состав муниципальных образований. Основным принципом политики объединения является максимальное вовлечение экономики и населения муниципальных образований, расположенных вокруг г. Красноярска,

в систему производственных и социальных процессов, сложившихся в ядре агломерации с наибольшим извлечением преимуществ от такого объединения.

Объективными предпосылками (возможностями) создания Красноярской агломерации являются:

1. Единая транспортная инфраструктура, относительно высокий уровень ее развития.

2. Общая система телекоммуникационного комплекса, объединяющая все муниципальные образования, входящие в агломерацию.

3. Примерно равный уровень развития жилищно-коммунального комплекса, с более высоким его потенциалом в городах (Красноярске, Дивногорске и Сосновоборске).

4. Относительно высокий образовательный уровень занятых в отраслях производства территорий, входящих в агломерацию.

Муниципальные образования, входящие в агломерацию, являются перспективными с точки зрения экономического развития и получают высокий объем инвестиций на развитие промышленности, строительства, транспорта и связи, инновационного комплекса, производственной инфраструктуры, сферы услуг.

Однако в развитии Красноярской агломерации существуют серьезные ограничения, которые не были объективно учтены при принятии соглашения об организации проекта по созданию агломерации. Основным ограничением социально-экономического развития Красноярской агломерации является крайне неоднородный уровень социально-экономического развития муниципальных образований, входящих в ее состав. Традиционно высокий уровень социально-экономического развития характерен для Красноярска, Дивногорска и Березовского района. Средний уровень социально-экономического развития сложился в Сосновоборске. Низким уровнем социально-экономического развития характеризуется Емельяновский, Сухобузимский и Манский районы. Это проявляется в резкой дифференциации уровня денежных доходов населения, развитии социально-бытовой сферы, бюджетной обеспеченности и т. д.

В качестве ограничения перспективного социально-экономического развития Красноярской агломерации можно назвать существующую в настоящее время производственную специализацию. Развитое промышленное производство в Красноярске является доминирующей составляющей производственного потенциала агломерации. Градообразующие промышленные предприятия в городах-спутниках Дивногорске и Сосновоборске практически прекратили свое существование. Сельскохозяйственные районы не имеют промышленных предприятий, за исключением прилегающего к Красноярску Березовского района, где расположены несколько средних предприятий пищевой промышленности, строительных материалов и производства мебели.

Для оценки возможностей и ограничений процесса агломерирования может быть использован метод экспертной оценки [5]. Он основан на оценке факторов положительного влияния (с плюсом) и отрицательного влияния (с минусом).

Особенность применяемого метода экспертной оценки состоит в том, что задается максимальный уровень влияния факторов, которые в сумме составляют 100 баллов. Методом экспертной оценки каждому фактору присваивается свой весовой коэффициент (реальная оценка). Они в сумме ≤ 100 баллам. Это необходимо для того, чтобы показать реальную значимость выбранных факторов по сравнению с максимально возможной.

Если общая сумма реальных баллов по каждому из факторов является положительной величиной, то это означает, что данный фактор рассматривается как возможность, если сумма является отрицательной величиной, то такой фактор выступает ограничением перспективного развития Красноярской агломерации.

Интегральная оценка возможностей и ограничений создания Красноярской агломерации проводилась по внутренним и внешним факторам. К внутренним факторам были отнесены демографические, природно-климатические и экономические факторы, которые оцениваются рядом показателей, каждый из которых имеет свой весовой коэффициент. К внешним факторам были отнесены политико-правовые, экономические, технологические, социальные факторы, которые оценивались в целом.

Расчет интегральной экспертной оценки факторов создания Красноярской агломерации представлен в табл. 3.

Оценка внутренних и внешних факторов, определяющих возможности и ограничения развития Красноярской агломерации, показывает, что роль внешних факторов, как со стороны возможностей, так и со стороны ограничений, незначительна. Это свидетельствует о том, что создание и развитие Красноярской агломерации в определяющей степени зависит от внутренних факторов экономического, экологического и политического характера.

По мнению экспертов, возможности развития Красноярской агломерации связаны в большей степени с экономическими факторами. Высокоразвитый промышленный сектор центральной части региона, представленный практически всеми отраслями специализации, определяет значительные перспективы увеличения производственного потенциала, развития высокотехнологичных отраслей, роста конкурентоспособности экономики агломерации. На втором месте – природно-экологические факторы, представленные богатыми природными ресурсами, удобным географическим расположением муниципальных образований, входящих в агломерацию, наличием транспортных магистралей, проходящих по территории агломерации.

Согласно проведенной балльной оценке, основными ограничениями в создании агломерации являются природно-экологические факторы. Это связано с ростом концентрации производства в городах агломерации, ухудшением экологической обстановки, растущими в связи с этим штрафами и платежами и ограничениями объемов производства промышленных предприятий.

Таблица 3

Интегральная оценка факторов создания Красноярской агломерации по методу балльных оценок

Факторы	Внешние				Сумма реальных баллов
	Возможности		Ограничения		
	Максимальные	Реальные	Максимальные	Реальные	
Экономические	12	5	–12	–2	3
Технологические	15	8	–15	–2	6
Социальные	8	2	–8	–1	1
Политико-правовые	5	1	–5		1
	Внутренние				
Демографические, всего, В том числе:	15	8	–15	–5	3
– рождаемость	3	1	–3	–3	1
– смертность	7		–3	–2	–3
– трудовой потенциал	2	5	–7		3
– миграция	3	2	–2		2
Природно-экологические, всего, В том числе:	15	12	–15	–14	–2
– географическое положение	2	6	–2	–2	6
– природно-климатические условия	2	3	–5	–3	1
– природно-ресурсный потенциал	9	3	–4	–9	0
– экологическая ситуация	2		–4		–9
Экономические, всего, В том числе:	30	25	–30	–12	13
– уровень социально-экономического развития	12	9	–15	–7	2
– производственная специализация	12	10	–10	–5	5
– уровень образования трудовых ресурсов	6	6	–5		6
Всего	100	61	–100	–36	25

Несколько меньше влияние ограничений экономической группы факторов, связанных с дифференциацией социально-экономического развития территорий и отраслевыми диспропорциями.

В целом оценка возможностей перспективного развития Красноярской агломерации превосходит оценку ограничений. Это означает, что возможности развития агломерации оцениваются как достаточно высокие.

Переход от экспортно-сырьевой к социально ориентированной модели развития экономики Красноярского края определяет особую роль агломерации, которая рассматривается как полюс экономического роста, обеспечивающий устойчивое развитие экономики региона в целом.

Стимулирование агломерационного развития позволяет наиболее эффективно использовать социально-экономический потенциал каждого муниципального образования, входящего в Красноярскую агломерацию, и создать синергетический эффект в целом для агломерации.

Библиографические ссылки

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г. [Электронный ресурс] : утв. распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Нищадин А., Прилепин А. Городские агломерации как инструмент динамичного социально-экономического развития регионов России // Общество и экономика. 2010. № 12. С. 12–18.

3. Перцик Е. Н. Города мира: география мировой урбанизации. М. : Междунар. отношения. 1999.

4. Лаппо Г. М. Развитие городских агломераций в СССР. М. : Наука, 1978.

5. Поподько Г. И., Нагаева О. С. Оценка возможностей и ограничений перспективного развития Красноярской агломерации // Стратегическое управление пространственным развитием субъектов Федерации и городов Сибири : сб. науч. тр. / под ред. А. С. Новосёлова. Новосибирск : ИЭОПП СО РАН. 2009. С. 76–102.

G. I. Popodko

ANALYSIS OF CONDITIONS AND FACTORS OF CREATION OF KRASNOYARSK AGGLOMERATION

In the article the authors consider conditions of creation of urban agglomerations, as a promising form of regional organization of production. The advantages and the risks of the process of agglomeration are defined. Complexity factor for the Krasnoyarsk agglomeration is calculated. Method for peer review opportunities and constraints for development of Krasnoyarsk agglomeration is proposed.

Keywords: sustainable socio-economic development, territorial organization, agglomeration.

© Поподько Г. И., 2012

УДК 519.866

Е. С. Семенкин, А. В. Медведев

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ*

Проанализированы подходы к моделированию инновационного развития экономических систем, сформулирована задача оптимизации управления инвестициями в инновационные секторы экономики, выделены характеристики инвестиционных проектов, определяющие их инновационность; изложены методы и результаты анализа инновационного развития некоторых экономических систем.

Ключевые слова: инновационное развитие экономических систем, экономико-математическое моделирование, система поддержки принятия решений.

Низкий уровень производства российской продукции объясняется, в частности, технологической отсталостью, слабым использованием инновационных технологий, отсутствием стимулирования и поддержки развития несырьевых секторов экономики, применяющих новые, высокоэффективные виды производств на базе нематериальных активов (объектов интеллектуальной собственности (ОИС): патентов, изобретений, программных продуктов, ноу-хау и т. п.). По оценкам специалистов рост экономики России определяемый секторами, использующими передовые технологии, почти на порядок (в 7,5 раза) ниже, чем в экономически развитых странах, что свидетельствует о существенном отставании России в инновационном развитии экономики.

Любая экономическая деятельность (в том числе инновационная) может быть представлена в виде последовательности инновационно-инвестиционных проектов (ИИП), поэтому оценка эффективности этой деятельности сводится к оценке эффективности ИИП, которые, как правило, характеризуются высоким уровнем риска в силу неопределенности порождаемых ими денежных потоков, спроса на производимую продукцию, уровня инфляции и других параметров. Методы оценки эффективности ИИП можно разделить на следующие группы:

1) эвристические и экспертные, использующие неформальные интерактивные процедуры, основанные на интуиции и опыте лица, принимающего решение;

2) статические и динамические методы, использующие набор финансово-экономических показателей в уравнениях балансов, движениях, ограничениях ИИП, не ставящие задачу оптимизации показателей эффективности (имитационные методы);

3) методы статистического моделирования, использующие аппарат теории вероятностей и математической статистики (например, регрессионные модели Альтмана, Бивера и т. п.);

4) оптимизационные, сводящиеся к решению одно- и многокритериальных задач оптимизации, которые могут быть как статическими, так и динамическими.

В настоящее время разработано множество моделей оценки эффективности инновационных проектов (ИП). Целый ряд подобных моделей для сферы интеллектуальной собственности предлагается, например, в работе [1]. В частности, модель M. Dickinson, A. Thornton, S. Graves описывает оптимальный процесс формирования портфеля взаимосвязанных проектов. Авторы модели предлагают задавать матрицу взаимозависимостей проектов, коэффициенты которой (определяемые экспертно) показывают степень зависимости проектов между собой. Кроме этого, экзогенно задаются матрицы ежегодных издержек и доходов проектов портфеля, а также вероятности успеха проектов на основе экспертных (эмпирических) данных. Сами принципы построения модели (экспертность определения основных исходных ее параметров) показывают, что в ней не учитывается механизм (динамика) формирования общих денежных потоков (ДП), генерируемых отобранными в портфель проектами. Эти ДП (помимо общих ограничений на ресурсы) и определяют взаимозависимость между проектами, а не «спущенные сверху» коэффициенты взаимозависимости. В частности, не учитывается «механика» формирования доходов (как итоговых ДП) по осуществленным расходам, т. е. они формируются в модели независимо друг от друга. Аналогичное замечание справедливо и по отношению к формированию на экспертной основе матрицы соответствия ИП, включаемого в портфель, стратегической цели, т. е. без учета его взаимосвязи с остальными проектами. Кроме того, как отмечается в [1], к основным недостаткам этой модели относятся следующие: проекты неделимы (т. е. они включаются в портфель либо исключаются из него полностью); не учитывается влияние объема выделяемых ресурсов на срок действия проекта; предполагается, что включаемые в портфель проекты финансируются до конца расчетного периода, тогда как часть их завершается раньше.

В [1] также приводится оптимизационная модель J. Wang, W.-L. Hwang формирования портфеля из n проектов с булевыми переменными. В модели рассматриваются ограничения на бюджет портфеля и количество специалистов, необходимых для реализации каждого проекта, на текущем этапе, а также максимальный и минимальный бюджеты, выделяемые на достижение заданной стратегической цели.

*Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710).

Предлагаемая модель описывается нечеткой задачей целочисленного линейного программирования, которая сводится к обычной целочисленной задаче линейного программирования и может быть решена стандартными методами, например, методом ветвей и границ.

Следует отметить, что упомянутые модели формирования портфеля инвестиций, являясь по существу оптимизационными, тем не менее, не являются задачами оптимального управления, так как не содержат уравнений динамики, не учитывают процесс формирования исходных и итоговых денежных потоков (доходов и издержек от создаваемого портфеля ИИП).

Для оценки эффективности инновационных проектов применяются два основных подхода – имитационный и оптимизационный, отличающиеся, соответственно, отсутствием и наличием критерия (критериев) оптимизации, а также уровнем детализации проектов, который, как правило, выше при использовании имитационных методов. Однако если с помощью имитационных подходов можно перебирать множество траекторий, нащупывая более эффективные на заданном горизонте планирования, то оптимизация позволяет найти максимально эффективную траекторию в смысле некоторого показателя (например, чистой приведенной стоимости ИИП), превзойти значение которого на заданном горизонте планирования невозможно. При этом перебирая траектории имитационным способом, остается риск вообще не найти оптимума и даже не приблизиться к нему.

В этой связи использование оптимизационных математических моделей, допускающих их математический анализ (обоснование существования и получение решения), имеет преимущество по сравнению с моделями неоптимизационного характера (которые, в частности, лежат в основе известных пакетов прикладных программ (ППП) типа Project Expert, Альт-Инвест Галактика, ИНЭК-Аналитик и т. п.). Особенно важно использование оптимизации в экономических системах при анализе стратегии их развития. Этим и обусловлен выбор многошаговой задачи линейного программирования как оптимизационной для модели оценки эффективности инновационных проектов. В условиях существенной неопределенности информации о характеристиках эффективности инновационных проектов, а также того факта, что для высокотехнологичного производства количество видов основных производственных фондов (ОПФ), участвующих в ИИП, может достигать порядка нескольких десятков и даже сотен, оценку эффективности соответствующих инновационных проектов невозможно осуществить без использования ППП, автоматизированных средств анализа и принятия управленческих решений. Причем автоматизированная обработка экономической информации должна осуществляться на языке, понятном профессионалу, экономисту-практику, аналитику. В существующих же пакетах экономического и финансового анализа на сегодняшний день отсутствуют возможности оценки эффективности ИИП во временной динамике по нескольким критериям в рамках оптимизационного подхода. Необходимо отметить, что отсутствие универсальной методики стоимостной оценки инновационных проектов (а фактически преобладание на практике экспертных методов оценивания нематериальных активов), а также несоответствие российского законодательства в этой сфере международным стандартам осложняют использование методов математического моделирования при оценке ИИП. Общим недостатком большинства имеющихся исследований в области стратегического управления экономическими системами является то, что в них редко решаются задачи создания работоспособного в условиях реального рынка, устраивающего экономиста-аналитика комплекса средств автоматизированной обработки экономической информации и поддержки принятия решений. Между тем автоматизированная обработка экономической информации регионального уровня необходима для эффективного мониторинга и прогноза эффективности экономического развития экономических систем с целью рационального использования имеющихся экономических ресурсов и достижения оптимального взаимодействия участников данных проектов. Указанный недостаток не позволяет экономистам-практикам эффективно использовать экономико-математические модели и решать задачи стратегического планирования на предприятии и в регионе, что является существенным аргументом в пользу создания и внедрения в практику экономического и финансового анализа оптимизационных модулей пакетов автоматизированной обработки информации экономического характера и создания соответствующей системы поддержки принятия решений. К одному из таких программных средств можно отнести успешно и неоднократно апробированный пакет [2], имеющий оптимизационные модули решения динамических и статических задач развития экономических систем, в котором исходная и выходная информация удобно заносится, хорошо читается и интерпретируется экономистом-аналитиком.

Задачу оптимального управления инвестициями в инновационные секторы экономики можно сформулировать следующим образом. Пусть инвестор имеет некоторую сумму собственных средств для разработки или приобретения основных производственных фондов для производства инновационной продукции n видов. Необходимо распределить эту сумму таким образом, чтобы суммарный денежный поток от функционирования ИИП за заданный горизонт планирования был максимальным.

При этом предполагается, что справедливы следующие основные предпосылки:

1) общие затраты включают в себя затраты на внедрение ОИС, на оформление всех патентов, имеющих отношение к конкретному ОИС, в том числе затраты на коммерциализацию и доведение до промышленного образца;

2) максимальные ожидаемые денежные потоки от освоения ОИС (выручка от реализации продаваемой

продукции) каждого вида не превосходят прогнозного спроса на продукцию;

3) амортизация для всех видов ОПФ начисляется линейно с момента начала производства, причем доля остаточной стоимости ОПФ по истечении срока службы от их балансовой стоимости мала;

4) при расчете чистой прибыли производственного сектора учитываются налоги, составляющие наибольшую часть затрат предприятий любой сферы производственной деятельности: налог на добавленную стоимость, налог на прибыль, налог на имущество, отчисления в фонд оплаты труда и страховые взносы;

5) затраты на создание и хранение запасов сырья, материалов, комплектующих и т. п. для производственного сектора считаются малыми по сравнению с общими производственными затратами;

6) объем продаж по каждому виду производимой инновационной продукции не выше прогнозируемого на нее спроса;

7) действие ИИП состоит из не более, чем трех этапов: инвестирования, приобретения ОПФ и производства;

8) срок действия (горизонт планирования) ИИП меньше сроков полезного использования единицы ОПФ каждого типа;

9) на единице ОПФ каждого типа производятся изделия только одного вида (т. е. рассматриваются чистые производственные отрасли);

10) прибыль производственного сектора на всем горизонте планирования неотрицательна;

11) не учитывается целочисленность количества ОПФ;

12) ставка дисконта в выражениях для целевых функций экономических агентов, участвующих в ИИП, включает требования доходности инвестора, ставку инфляции и ставку, учитывающую другие риски ИИП;

13) фонд оплаты труда в каждой из рассматриваемой сфер производства инновационной продукции рассчитывается как доля выручки от реализации всей произведенной продукции.

На первой (предварительной) стадии используем для анализа сформулированной задачи предложенные в работе [3] математические модели экономических систем в виде многокритериальных, многошаговых задач линейного программирования (ММЗЛП), а также операционные методы их анализа в виде z-преобразования.

Использование ППП [2] позволяет варьировать параметрами указанных моделей, содержательно трактуемыми как параметры инновационности ИИП. К таким параметрам можно отнести: 1) спрос на продукцию каждого из n видов (который в условиях производства инновационной продукции обладает высокой степенью неопределенности); 2) стоимость, производительность и фондоотдача каждого из n видов ОПФ (неопределенность которых, очевидно, может обусловливаться либо их текущей разработкой, либо даже отсутствием в природе соответствующего оборудования). В состав пакета [2] входят как динамические, так и статические модули решения ММЗЛП. Указанный пакет наряду с теоретическими результатами, полученными в работе [3], составляет основу системы поддержки принятия решений при анализе инновационного развития экономических систем.

Следует отметить, что большое количество задач в экономике имеет нелинейный характер. Например, из экономической практики известно, что зависимость спроса на производимую продукцию от доходов потребительского сектора в экономической системе может быть описана нелинейным, логистическим законом. Это, очевидно, превращает поставленную выше задачу в нелинейную, что значительно осложняет ее теоретический анализ методами теории оптимального управления (принцип максимума, принцип Беллмана и т. п.). Кроме того, в этом случае она уже не может быть решена и численными методами, являющимися эффективными при анализе ММЗЛП (метод последовательных приближений, симплекс-метод и т. п.). Для решения таких задач необходимо применять другие методы, одним из которых вполне может быть хорошо зарекомендовавший себя в задачах анализа экономических систем генетический метод [4], не зависящий от условия линейности уравнений движения, ограничений и целевых критериев ИИП.

В работе [5] для анализа региональной инновационной политики с использованием экономической статистики региона [6] были рассмотрены четыре отрасли (вида) экономической деятельности: 1) добыча полезных ископаемых; 2) обрабатывающие производства; 3) производство продукции гражданского назначения (инновационной продукции с повышенными характеристиками спроса) предприятиями военно-промышленного комплекса, проводящими свою реструктуризацию; 4) строительство. Исходя из приведенной в [6] трактовки статистических данных, была рассмотрена следующая задача управления инновационной промышленной политикой региона: найти общий объем инвестиций, объем инвестиций в приобретение ОПФ указанных видов экономической деятельности (отраслей), а также планируемую выручку от реализации продукции такие, что чистая приведенная стоимость инвестиционного проекта по развитию указанных видов деятельности в регионе будет максимальной. Сформулированная задача была решена как с помощью ППП [2], так и с помощью генетического алгоритма (модифицированного алгоритма SPEA) [7]. При этом как по распределению оптимальных значений переменных, так и по значению целевого критерия было показано хорошее согласование расчетов (различие в значениях критериев, например, составляют 0,15 %).

Таким образом, приведенные данные позволяют рассчитывать на успешное применение генетических алгоритмов при анализе статических многопараметрических моделей как в линейной, так и нелинейной

постановках, для решения задач поддержки принятия решений при управлении процессами модернизации региональной экономики и аналогичными процессами в экономических системах в целом.

Библиографические ссылки

1. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности / В. М. Аньшин [и др.]. М. : МАТИ, 2008.

2. Конструктор и решатель дискретных задач оптимального управления («Карма») : программа для ЭВМ : пат. Рос. Федерация / А. В. Медведев, П. Н. Победаш, А. В. Смольянинов, М. А. Горбунов. Роспатент № 2008614387 от 11.09.2008.

3. Медведев А. В. Применение *z*-преобразования к исследованию многокритериальных линейных моделей регионального экономического развития : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008.

4. Клешков В. М., Семенкин Е. С. Модели и алгоритмы распределения общих ресурсов при управлении инновациями реструктурированного машиностроительного предприятия // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2006. № 3. С. 24–31.

5. Горбунов М. А., Медведев А. В., Семенкин Е. С. Применение генетических алгоритмов для решения задачи оценки эффективности региональной промышленной политики // Вестник СибГАУ. Вып. 4 (37). 2011.

6. Социально-экономическое положение Красноярского края в 2006 г. (доклад № 1-1) / территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю (Красноярскстат). Красноярск, 2007.

7. Zitzler E., Thiele L. Muptiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 1999.

E. S. Semenkin, A. V. Medvedev

ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING OF INNOVATION DEVELOPMENT OF ECONOMIC SYSTEMS

The article is devoted to analysis of approaches to innovation development of economic systems modeling, the objective of optimizing investments into innovative sectors of economy is stated; methods and results of the analysis of the innovative development of certain economic systems are considered.

Keywords: innovation development of economic systems, economic-mathematical modeling, decision support system.

© Семенкин Е. С., Медведев А. В., 2012

УДК 65.011.8

А. И. Таюрский, Н. Е. Гильц

ПРИНЦИПЫ МОНИТОРИНГА РАЗВИТИЯ КОНВЕРСИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Развитие конверсионного производства подразумевает сложную систему управления с множеством взаимодействий, результаты которых необходимо постоянно отслеживать и корректировать в соответствии с изменениями в нестабильной окружающей среде. Создание такой системы управления требует учета особенностей развития конверсионного производства и выделения соответствующих принципов функционирования системы мониторинга.

Ключевые слова: конверсионное производство, принципы мониторинга развития.

Оборонно-промышленный комплекс (ОПК), являясь высокотехнологичным и многопрофильным научно-производственным комплексом, занимает особое место в экономике России. В современных условиях предприятия ОПК вынуждены больше внимания уделять развитию производства гражданской продукции, учитывать потребности рынка, ориентироваться на потребителей и конкурентов, уметь гибко приспосабливаться к изменяющейся рыночной конъюнктуре. Поэтому развитие конверсионного производства приобретает решающее значение для завоевания конкурентных позиций предприятиями ОПК, позволяет обеспечить выживание предприятия в долгосрочной перспективе.

В 2010 г. объем совокупной выручки ряда ведущих предприятий ОПК РФ увеличился до 723,6 млрд руб. по сравнению с 551,6 млрд руб. в 2009 г. Прирост объема совокупной выручки составил 31,2 %, а доля выручки от продажи гражданской продукции анализируемых предприятий составила 25,1 % [1]. Для инновационного развития всех направлений деятельности предприятий ОПК этих средств не хватает, заработать их можно только за счет развития конверсионного производства, что свидетельствует о необходимости и важности его развития.

По данным первого заместителя министра обороны А. П. Сухорукова, в 2011 г. объем государственного оборонного заказа по линии Минобороны составил

552,3 млрд руб., еще 168,9 млрд руб. было получено промышленностью в виде кредитов под госгарантии. В последующие годы гособоронзаказ будет расти и в 2013 г., с учетом кредитов под госгарантии, составит 1,24 трлн руб., в 2014 г. – 1,5 трлн руб., в дальнейшем до 2020 г. – около 2 трлн руб. в год [2]. Складывающаяся ситуация на предприятиях ОПК должна способствовать и развитию конверсионного производства.

Конкурентоспособность конверсионной продукции ОПК определяется следующими факторами:

– наукоемкостью производимой продукции;

– ценой конверсионной продукции;

– сроками обновления модельного ряда и вывода новой продукции на рынок;

– качеством продукции;

– послепродажным сервисным обслуживанием.

Отличительной особенностью и конкурентным преимуществом конверсионного производства является необходимость и возможность диффузии инновационных технологий в производство продукции гражданского назначения.

Необходимость развития основного производства и повышения конкурентоспособности конверсионного производства в условиях активизации инновационной деятельности и влияния внешних и внутренних факторов позволяет определить в качестве стратегической цели обеспечение устойчивости развития предприятий ОПК. В связи с этим специфика конверсионного производства требует совершенствования инструментов управления им [3].

В научной литературе исследованы различные стороны сложного экономического понятия «развитие». Анализ изученных определений позволяет отметить, что в большинстве из них выделяются такие признаки, как непрерывность, необратимость, тип изменений, состав сфер проявления новых закономерностей и др. [3–6], анализируются понятия «инновационное развитие», «устойчивое развитие» и др. Так или иначе наиболее общим признаком развития является изменение закономерностей функционирования экономической системы. Представляется, что данный признак отражает сущность экономического развития, которое заключается в изменении качества функционирования экономической системы. Остальные же признаки характеризуют формы проявления этой сущности, находясь в определенной причинно-следст-венной связи по отношению как к данному признаку, так и друг к другу [3].

Существующее понятие «развитие», применительно к конверсионному производству подразумевает сложную организационную систему хозяйствования с множеством взаимодействий, результаты которых необходимо постоянно отслеживать и корректировать относительно развитости внутренних механизмов управления, общего состояния предприятия, внешней и социальной среды предприятия.

Одним из наиболее результативных инструментов управления является мониторинг различных управленческих инициатив. Таким образом, мониторинг развития конверсионного производства приобретает решающее значение для завоевания конкурентных позиций предприятиями ОПК.

Вопросам мониторинга, планирования, учета и контроля на предприятиях в современной экономической литературе уделяется достаточно внимания.

В словаре иностранных слов указано, что понятие «мониторинг» происходит от английского слова *monitoring*, что означает наблюдение.

В ходе исследований, посвященных данной проблематике, были проанализированы определения мониторинга, некоторые из которых, имеющие общую основу, но различающиеся по сути, представлены в табл. 1.

Анализ перечисленных определений и понятий показывает, что общность этих терминов проявляется лишь в использовании слов «наблюдение» и «контроль». Представленные определения имеют общую основу: мониторинг – это часть обособившихся функций менеджмента, представляющая собой комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных подсистем – планирования, информационного обеспечения (учета), контроля, анализа полученных результатов, формирования вариантов управленческих решений. Однако мониторинг должен отражать состояние, особенности и тенденции изменения и развития экономических процессов и составляющих эти процессы элементов. Каждый показатель оценки производства не возникает сам по себе, а является отражением организационных, технологических и социально-экономических процессов, протекающих в производстве. В связи с этим любой показатель является функцией достаточного большого и разнохарактерного комплекса условий, факторов и других показателей.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что мониторинг развития должен включать в себя текущий сбор и обработку информации для принятия управленческих решений, осуществление функций контроля отклонений фактических показателей деятельности предприятия от плановых, а также, что наиболее важно, подготовку рекомендаций для принятия управленческих решений. Координируя, интегрируя и направляя деятельность всей системы управления предприятием на достижение поставленных целей, мониторинг выполняет функцию «управления управлением» и является синтезом планирования, учета, контроля, организации информационных потоков и многого другого на оперативном уровне. Применительно к развитию конверсионного производства особенности организации мониторинга будут состоять в необходимости расставления акцентов на создании сбытовых сетей для конверсионной продукции и затрат на ее функционирование.

Мониторинг развития конверсионного производства должен реализоваться в качестве системы наблюдений за динамикой изменений показателей деятельности предприятия и преследовать следующие цели:

– организация наблюдений, получение достоверной, своевременной и объективной информации об устойчивости развития конверсионного производства;

– оценка эффективности использования ресурсов;

– подготовка рекомендаций, направленных на преодоление негативных и поддержку позитивных тенденций развития [5; 7].

Таблица 1

Определения понятия «мониторинг»

№ п/п	Определения мониторинга	Особенность	Источник
1	Постоянное отслеживание какого-либо процесса для установления его соответствия первоначальным предположениям или желаемому результату	Непрерывность Соответственность	Новейший словарь иностранных слов и выражений. М. : АСТ ; Минск : Хаарвест, 2002. 967 с.
2	Средства и методы контроля и наблюдения за ходом каких-либо процессов или коммерческой деятельности предприятий, осуществляемые предпринимателем с целью стабилизации параметров производства	Достижимость цели Выравнивание Упрочнение Параметры контроля Изменение Стабилизация параметров	Новиков В. А. Толковый словарь рыночной экономики. М. : Наука, 1994. 233 с.
3	Процесс наблюдения, оценки и прогноза	Прогноз Оценка Наблюдение	Энциклопедия предпринимателя / сост. : С. М. Синельников, Т. Г. Соломкин, М. Б. Биржаков, Р. В. Янборисов. СПб. : ОЛБИС, САТИСТЪ, 1994. 592 с.
4	Комплекс наблюдений и исследований, определяющих изменения в окружающей среде, вызываемые деятельностью человека	Комплексность Отклонение Корректировка Результативность	Большой экономический словарь / под ред. А. Н. Азрилияна. М. : Ин-т новой экономики, 2002. 1280 с.
5	Непрерывное наблюдение за экономическими объектами, анализ их деятельности как составная часть наблюдения	Непрерывность Оценка Корректировка	Райзберг Б. А., Лозовский Л. М., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 2-е изд., испр. М. : Инфра-М, 1999. 479 с.
6	Постоянное наблюдение за каким-либо процессом с целью выявления его соответствия желаемому результату или первоначальным предложениям; сбор информации с целью изучения общественного мнения по какому-либо вопросу	Непрерывность Соответственность Достижимость цели	Словарь современных экономических и правовых терминов / авт.-сост. В. Н. Шимов [и др.] ; под ред. В. Н. Шимова и В. С. Наменкова. Минск : Амалфея, 2002. 816 с.
7	Технология наблюдения и анализа изменений объекта управления, характеризуемая постоянством, регулярностью осуществления в течение всего управленческого цикла	Технология контроля Повторяемость Систематичность	Теория управления : учебник / под общ. ред. А Л. Гапоненко, А. П. Панкрухина. М. : Изд-во РАГС, 2003. 558 с.
8	Постоянный контроль определенных параметров деятельности данного предприятия, которые должны сохраняться в заданных пределах	Повторяемость Систематичность Параметры контроля	Парамонов Ф. И., Солдак Ю. М. Теоретические основы производственного менеджмента. М. : БИНОМ, 2003. 280 с.

Для осуществления мониторинга развития конверсионного производства на предприятиях ОПК необходимо выделить его основные элементы. В первую очередь, нужно определить постоянный состав показателей и индикаторов развития предприятия, а также состав временных показателей, дополняющих основную систему и изменяющихся в зависимости от целей предприятия, что обеспечивает гибкость системы мониторинга. Далее необходимо обеспечить передачу данных по каналам связи на центральный информационный центр, их обработку и хранение [3; 4]. Осуществление мониторинга развития конверсионного производства на предприятиях ОПК должно соотноситься с целями и задачами развития предприятия ОПК в целом.

Основные принципы организации мониторинга развития конверсионного производства вытекают из особенностей наблюдаемого объекта и целей наблюдения. Так как объектом наблюдения является конверсионное производство, то можно выделить ряд основных принципов мониторинга развития конверсионных производств, среди которых принципы единства, целенаправленности, аналитичности, комплексности, унификации, научности и др.

Так как развитие конверсионного производства обусловлено общими экономическими процессами на предприятии ОПК, а система мониторинга должна быть направлена на решение конкретных задач в достижении целей развития, представленная для мониторинга информация должна коррелировать с целями и задачами развития. Принцип комплексности обеспечит полноту, системность и взаимосвязанность анализируемой информации. Все данные, необходимые для осуществления мониторинга, должны быть единообразны, приведены к единой форме. При построении системы мониторинга необходимо использовать научные методы и методики, математическое моделирование.

При обеспечении устойчивого развития конверсионного производства предприятия ОПК мониторинговое исследование предлагается проводить для каждого типа конверсионной продукции в отдельности. Для этого необходимо провести типологию конверсионной продукции предприятий ОПК [3; 8].

Таблица 2

Особенности конверсионного производства предприятий ОПК и требования к системе мониторинга

Особенности конверсионного производства	Требования к системе мониторинга развития конверсионного производства предприятия ОПК	Принципы мониторинга
Двойственность производства предприятия ОПК. Существование двух сфер деятельности предприятия, оборонное и конверсионное производство	Комплексный подход к планированию производства. Использование в конверсионном производстве унифицированного оборудования	Целенаправленность Унификация Комплексность
Инновационность основного производства и диффузия инноваций в конверсионное производство	Возможность беспрепятственной передачи информации. Согласованность действий всех подразделений предприятия. Соподчиненность информации по подразделениям. Отслеживание изменений в научно-техническом прогрессе	Единство Диффузионность Интегративность Согласованность Соподчиненность Информативность Коммерциализация
Возможность использования технологий двойного назначения	Соблюдение требований конструкторской документации. Целевое назначение использования производственных технологий. Наличие свободных ресурсов. Создание системы послепродажного обслуживания	Эффективность Соответствие Интеграция Координация Системность Коммерциализация
Возможность дифференцировать риски производства конверсионной продукции	Производство только конкурентоспособных видов конверсионной продукции. Четкое отслеживание возможности реализации продукции на различных рынках сбыта. Исключение из производственной программы невостребованных видов продукции	Своевременность Целенаправленность Системность Диверсификация

Условия и особенности конверсионного производства, реализации и продвижения на рынок различных видов продукции существенно отличаются. Следовательно, учитывая особенности конверсионного производства, будут разными и требования к системе мониторинга развития конверсионного производства (табл. 2).

Существование на предприятиях ОПК двух сфер деятельности (оборонного и конверсионного производства) обусловливает необходимость комплексного подхода к планированию производства. Система мониторинга развития конверсионного производства должна учитывать эту особенность. Инновационность основного производства обусловливает не только необходимость, но и возможность диффузии инноваций в конверсионное производство.

Одной из отличительных особенностей конверсионного производства является возможность использования технологий двойного назначения. Система мониторинга должна предполагать возможность отслеживания достижений в научно-техническом прогрессе оборонного производства и переносе их на конверсионное производство [3].

Рынок конверсионной продукции предприятий ОПК сильно сегментирован, причем в каждом из сегментов действуют свои механизмы формирования спроса. Условия реализации и дальнейшего продвижения на рынок конверсионной продукции будут существенно отличаться. Отслеживание возможностей реализации продукции на различных рынках сбыта даст возможность дифференцировать и снизить риски производства конверсионной продукции.

Проведенное исследование позволило дополнить общеизвестные принципы мониторинга специфическими моментами, присущими развитию конверсионного производства, а именно принципами диффузионности, коммерциализации и унификации.

Исследование и описание основных принципов мониторинга развития конверсионного производства позволят создать его концептуальную модель на предприятиях ОПК.

Библиографические ссылки

1. Рэнкинг крупнейших предприятий оборонно-промышленного комплекса России в 2010 году [Электронный ресурс] // 1997–2011. Цент анализа стратегии и технологии. URL: http://cast.ru.

2. Итоги выполнения гособоронзаказа в 2011 г. и перспективы на 2012 г. [Электронный ресурс]. URL: http://periscope2.ru/2012/01/26/5468.

3. Ерыгин Ю. В. Планирование устойчивого инновационного развития предприятий ОПК: методология и инструментарий : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск : Город, 2005.

4. Беляков Г. П. Интеграционные процессы в экономике: проблемы, поиски, решения. М. : МАИ : Доброе слово, 2003.

5. Лейманн Я. А. Управление по результатам. М. : Прогресс, 1993.

6. Шумпетер Й. Теория экономического развития: исследование предпринимательской прибыли, капитала, кредита, процента и цикла конъюнктуры. М. : Прогресс, 1982.

7. Дедов О. А. Методология контроллинга и практика управления крупным промышленным предприятием : учеб. пособие. М. : Альпина Бизнес Букс, 2008.

8. Типология и классификация организаций [Электронный ресурс]. URL: http://partnerstvo.ru/lib/to/node/31.

A. I. Tayurski, N. E. Gilts

PRINCIPLES OF MONITORING OF DEVELOPMENT OF CONVERSION PRODUCTION

Development of conversion production implies a complex control system with great number of interactions, results of which must be monitored and corrected according to changes in the unstable surrounding environment. Creation of such control system should be done with account of characteristic features of conversion production development and segregation of appropriate principles of monitoring system functioning.

Keywords: conversion production, principles of monitoring of development.

© Таюрский А. И., Гильц Н. Е., 2012

УДК 338.45

А. Н. Чаплина

АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ МЕНЕДЖМЕНТА СФЕРЫ УСЛУГ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Рассмотрены тенденции и проблемы менеджмента сферы услуг, определены методологические приоритеты управления этой сферой.

Ключевые слова: сфера услуг, менеджмент, инновационное развитие.

Инновационное развитие интеграционных процессов в национальной экономике и взаимосвязей между территориями предполагает высокий уровень развития сферы услуг и торговли как связующего звена хозяйственного механизма. Открывающиеся перспективы роста объемов предоставления услуг делают этот сектор весьма привлекательным для инвестиций и приложения предпринимательской активности.

Розничная торговля в последние годы претерпела значительные структурные изменения и благодаря своим масштабам и влиянию на уровень жизни населения стала играть важнейшую роль в экономике страны.

В структуре валового внутреннего продукта (ВВП) России на долю торговли приходится 22 %; по размеру налоговых поступлений в консолидированный бюджет торговля занимает третье, а в федеральный бюджет – второе место среди основных отраслей экономики; в сфере торговли задействовано более 1 млн хозяйствующих субъектов, а численность работников составляет порядка 5 млн человек. В последние годы Россия стабильно входит в первую десятку стран в ежегодном индексе розничной торговли, составляемом международной консалтинговой компанией A. T. Kearny.

Важнейшей целью торгового предприятия в современных условиях является повышение эффективности управления и увеличение рыночной стоимости путем формирования экономических и инновационных механизмов, способствующих адаптации предприятия к изменениям внешней среды, его экономическому росту, внедрению передовых технологий и повышению качества товаров и услуг, созданию других важнейших конкурентных преимуществ.

Развитие управления вызвано потребностями развития объекта управления (фирмы, предприятия и пр.). Факторы развития объекта управления многообразны. Изменяется масштаб и структура торгово-технологических процессов, технологии, ассортимент и качество товаров и услуг; находится в развитии и профессиональный уровень персонала. В этих условиях управление не может быть застывшим, неизменяемым. Оно так же должно находиться в развитии. В управлении меняются структуры системы управления, информационные технологии и техническая вооруженность управленческой деятельности, меняется и профессиональный уровень персонала управления и менеджеров. Нетрудно предположить, что эти изменения происходят не столько в количественных параметрах, сколько в качественных.

Привлечение частного капитала в экономику сферы услуг и торговли изменяет принципы и подходы к оценке эффективности менеджмента предприятий. Для этого требуется теоретическое переосмысление ряда фундаментальных положений управленческой науки, решение методологических проблем, связанных с разработкой принципов формирования новой управленческой парадигмы, параметров, определяющих ее концептуальную основу, критериев оценки и влияющих факторов, создание конкурентоспособной системы управления. Эффективность менеджмента определяется многими факторами, однако, инновационный характер развития торгового предприятия вносит изменения в подходы и методы оценки его эффективности, выдвигает специфические требования к условиям определения параметров управленческой деятельности, которые не отражаются в традиционных подходах. Применительно к оценке эффективно-

сти системы менеджмента (механизм, процесс и структура управления) необходимо определить новые методы, критерии, принципы и факторы по измерению эффективности управленческой деятельности предприятия. Тенденции развития торгового менеджмента характеризует и изменяющаяся актуализация его проблем. Исследованию наиболее актуальных проблем посвящены научные результаты ученых кафедры менеджмента, полученные под руководством автора. Так, можно выделить следующие тенденции и найденные решения:

1. Ориентация на качество, которое становится ведущей проблемой развития и сегодня рассматривается как одна из основных целей управления, определяющая все его особенности и содержание, эффективность и потенциал развития. При этом тенденция заключается не только в управлении качеством, но и в потребности повышения качества управления, которое определяет и возможности успешного управления качеством.

Формирование характеристик качества управления предприятием сферы услуг должно основываться на специальной диагностике состояния системы управления, ее воздействия на факторы качества услуг, что обусловливает потребность разработки соответствующей методики оценки.

Методика интегрирует в себе существующие способы диагностики, отражает последовательность исследования, взаимосвязь этапов, значение каждого из них. Это позволяет осуществлять мониторинг деятельности, оценку отдельных процессов и проектов, выявить проблемы в управлении, приводящие к изменению качества услуг и экономических результатов работы предприятия.

Влияние характеристик качества управления состоит в том, что они создают базу для реализации рыночной стратегии и достижения предприятием поставленных целей. Часто стратегия не осуществляется потому, что управление не может должным образом сформировать имеющийся потенциал для реализации стратегических задач. В особенности это относится к повышению качества услуг. Обеспечение системой управления повышения качества услуг опосредовано через их факторы и внутренние бизнес-процессы. Совершенствование управления по характеристикам его качества влияет на финансовые результаты через цепь причинно-следственных связей.

Целеполагание повышения качества услуг и качества управления связаны друг с другом причинно-следственными отношениями. Все начинается с гипотезы о том, что финансовые результаты могут быть получены только в том случае, если удовлетворена целевая группа клиентов. Предложение потребительной ценности клиентам описывает, как увеличить продажи и завоевать лояльность целевых клиентов. Внутренние процессы создают и предоставляют клиенту это предложение. И наконец, система управления осуществляет воздействие на внутренние процессы и факторы качества услуг, интегрируя все составляющие в рамках реализуемой рыночной стратегии.

Таким образом, этот подход является концептуальной основой разработки программ достижения необходимого уровня качества услуг для потребителей. Построение системы управления, обладающей характеристиками качества, создает необходимые предпосылки для успешной реализации стратегических изменений в организации сферы услуг, переводящих ее в такое состояние, в котором она будет готова к проведению стратегии в жизнь.

2. Возрастание инновационного потенциала менеджмента, формирование систем креативного менеджмента. Сегодня может быть будущее лишь у такой фирмы, в которой процессы управления формируют инновационный потенциал развития, т. е. стремление к обновлению, поиск новых форм и методов, мониторинг социально-экономической обстановки и адаптация системы управления к новым условиям.

Это обусловливает важность поиска эффективных механизмов, бизнес-процессов и инструментов интеллектуального обеспечения инновационного развития субъектов хозяйствования потребительского рынка (СХПР), включая предпринимательство. Постиндустриальная фаза развития отечественной экономики – экономика знаний – в качестве основного ресурса выдвигает знания, обладание которыми определяет конкурентные преимущества субъектов хозяйствования потребительского рынка и всей экономической системы. При этом основу экономики знаний составляют не материальные активы, а интеллектуальный капитал. По результатам оценки мирового банка, по индексу экономики знаний Россия занимает 60-е место в мире из-за абсолютно неэффективного режима экономического благоприятствования развитию экономики знаний (рейтинг 1,76 по сравнению с 9,27 по первым 10-ти странам), низкого уровня развития инноваций и информационно-коммуникативных технологий [1]. Наиболее высокий рейтинг получила система образования РФ (7,19 по сравнению с 9,10 по первым 10-ти странам). Последнее позволяет рассматривать Россию как наиболее устойчивый элемент экономической системы, обеспечивающий воспроизводство интеллектуальных ресурсов даже в условиях неблагоприятной среды.

Поскольку доля стоимости знаний в общей стоимости товаров и услуг на потребительском рынке непрерывно растет и уже по некоторым оценкам превышает 50 %, это обусловливает необходимость разработки бизнес-процессов и механизмов интеллектуального обеспечения инновационного развития СХПР. При этом в условиях развития инновационной экономики и становления знаний как основного экономического ресурса, интеллектуальное обеспечение инновационного развития предпринимательства становится важнейшим фактором повышения конкурентоспособности как СХПР, так и рынка потребительских услуг крупного города (другого муниципального образования) страны и роста благосостояния его населения.

Таким образом, по нашему мнению, условия и факторы формирования системы интеллектуального

обеспечения предпринимательства включают в себя научно-методическое, правовое, организационное, кадровое, экономическое, финансовое, информационное, материально-техническое, социально-психологическое обеспечение. Система обеспечения интеллектуального инновационного развития предпринимательства в сфере услуг и торговли формируется благодаря усилиям трех ключевых субъектов национальной инновационной системы: государства, предпринимательства и системы образования и науки. Каждый из них активно влияет на состояние и развитие всех элементов, а эффективность их взаимодействия определяет эффективность воспроизводства интеллектуальных ресурсов, а также обмена и распространения знаний в обществе, что обеспечивает развитие «знаниевой» конкурентоспособности СХПР на всех уровнях социально-экономической системы. Анализ уровня развития интеллектуальных ресурсов РФ показал их высокий потенциал и низкую эффективность использования. Так, в 2009 г. 28,2 % населения РФ имели высшее образование. К 2015 г. доля таких людей должна возрасти до 30 %. В целом, начиная с 2000 г., доля населения с высшим образованием должна возрасти на 8,3 %, с 21,7 до 30 %. За тот же период доля населения со средним и начальным профессиональным образованием должна возрасти с 39,6 до 53,5 % [2].

Согласно международной статистике, в США в 2005 г. доля населения с высшим образованием оценивалась на уровне 30 %, Финляндии – 18 %, Франции, Германии – 15 % [3]. Отсюда следует, что уровень развития интеллектуальных ресурсов РФ достаточно высок. Однако эффективность их использования в экономике низкая. Так, расчет динамики ВВП (ВВП РФ по паритету покупательской способности) на одного занятого в экономиках России и США показал, что РФ в период 2000–2008 гг. отставала от США в среднем в 3,3 раза, имея положительную динамику (в 2008 г. – в 2,6 раз). Расчет НД на одного занятого в России и США показал отставание России в 1,7 раз [4]. Образование в России вносит в ВВП меньший вклад, чем в среднем по странам мира. Так, доля образования в ВВП США составляет около 10 % в то время как в России – менее 3 % [5]. Это также доказывает, что эффективность использования потенциала системы образования в экономике России низкая. Неэффективность использования интеллектуальных ресурсов РФ демонстрируют также данные отрицательной динамики числа исследователей при наличии противоположной тенденции в мире. Так, общая численность работников, выполнявших научные исследования в России за период с 2000 по 2008 гг., сократилась на 10 % при наличии тенденции роста общего числа исследователей в мире на 35 % в период 1999–2006 гг. [6].

На базе Красноярского государственного торгово-экономического института ведется генерация моделей новых форм взаимодействия науки, образования и бизнеса. Так, в порядке постановки и обсуждения в данной статье предлагается рассмотреть становление в вузе микрокластера. Цель микрокластера – инновационное развитие регионального предпринимательства путем подготовки интеллектуальных ресурсов (компетентных управленческих кадров, способных к обучению и самообучению), а также оказания широкого спектра интеллектуальных услуг (обучение персонала, аудиторские, маркетинговые, управленческие и другие консалтинговые услуги) предприятиям малого бизнеса, включенным в оболочку кластера.

Практическая реализация цели микрокластера началась с грантовых программ. Для участия в конкурсе «Социально-экономическое развитие территорий Красноярского края» на кафедре менеджмента из студентов специальности «Менеджмент организации» были сформированы проектные группы для разработки проектов, которые прошли конкурсный отбор (актуальны и экономически обоснованы) и приняты для внедрения администрациями соответствующих муниципальных образований.

Проектные группы как микрокластер имеют выраженный фокусный характер и способствуют инновационному развитию предпринимательских структур невысокотехнологичного сектора. Микрокластер фактически представляет собой совокупность кафедры и возникающих на ее основе предприятий для внедрения вышепредставленных проектов, относящихся к интеллектуальному предпринимательству, а механизм его функционирования обеспечивается единством руководства кафедры и предприятия (разработка проекта и консалтинг внедрения); массовым совмещением работы преподавателей на кафедре и в предпринимательских структурах на основе использования инновационных типов занятости; активным привлечением талантливых студентов-старшекурсников к работе на предприятиях кластера в режиме сокращенного рабочего времени, а также прохождением практики студентами 2–4-го курсов. При обосновании проектов также уделено внимание оценке эффектов от реализации конкретных моделей ИОИРП, в частности, модели микрокластера на базе кафедры и сети предпринимательских структур:

1) эффекты, полученные кафедрой:

– рост хоздоговорных работ в среднем на 25 % ежегодно;

– рост дипломных проектов по заказу СХПР кафедры;

– рост занятости профессорско-преподавательского состава и студентов инновационного типа;

– появление на кафедре магистров, аспирантов, соискателей;

– рост доли сотрудников кафедры, работающих в интеллектуальных предпринимательских структурах и участвующих в грантовых программах;

2) эффекты, полученные в будущем СХПР муниципальных образований: влияние интеллектуального капитала отражает динамика роста удельной валовой и чистой прибылей (на одного работника предприятия).

Таким образом, развитие интеллектуального предпринимательства в вузах создает предпосылки для

разработки и апробации новых моделей бизнес-процессов взаимодействия вузов и бизнеса, адекватных региональным условиям. Интеллектуальное предпринимательство способствует сближению сфер образования и предпринимательства, созданию доверия и эффективного канала трансфера знаний между ними.

3. Современной проблемой, определяющей понимание перспективных изменений, движения в будущее, является и проблема диверсификации менеджмента. Это тенденция гармонизирующего разнообразия форм и типов систем управления, механизмов и технологий управления.

При диверсификации менеджмента важно профессионально расставлять исследовательские акценты и выделять при этом необходимые методологические приоритеты. В настоящее время для России одной из основных задач становится обеспечение устойчивости экономики страны, ее регионов, предприятий. Современные тенденции развития экономики страны характеризуются многообразием форм предпринимательства, имеющих различный организационно-правовой статус и тип собственности. Это обусловливает необходимость и возможность рассмотрения предпринимательства как объекта экономических исследований и управления.

Любая предпринимательская структура (организация), осуществляющая свою деятельность в рыночной среде, имеет две тенденции своего существования: функционирование и развитие. Развитие – это приобретение нового качества, определяющего усилие и устойчивость жизнедеятельности организации, ее рост. Развитие предпринимательской структуры – это последовательный и целенаправленный процесс изменения ее качества. Процесс развития – это изменения, поэтому управлять развитием означает сознательно и целенаправленно вносить изменения, ведущие к успеху, повышающие жизнеспособность, придающие новое качество. Соответственно, развитие организации будет предполагать процесс, обозначающий новый тип функционирования. Это стабильное, сбалансированное социально-экономическое развитие предприятия в условиях динамичной среды. Критерием развития будет выступать приобретение нового качества предпринимательской структуры, проявляющееся в средствах труда, предметах труда и человеке, и поэтому устойчивое развитие должно найти отражение во всех сторонах деятельности предприятия – организационной, экономической, финансовой, производственной, социальной.

Устойчивость предприятия – его способность сохранять постоянство, возвращаться к исходному состоянию при воздействии на него каких-либо факторов либо после прекращения воздействия, которое вывело его из этого состояния; развитие предприятия – это процесс его изменения, связанный с изменением состояния, переходом от одного качественного уровня к другому, более высокому. На основании вышеизложенного можно предположить, что *устойчивое развитие предприятия* – это способность предприятия на протяжении всего цикла хозяйствования добиваться поставленных целей и при этом под воздействием различных факторов сохранять состояние равновесия, приспосабливаясь самостоятельно к их воздействию, посредством перехода из одного качественного состояния в другое, более развитое. В данном определении указана цикличность существования предприятия и отмечено, что важным условием устойчивости развития является постоянство данного состояния на протяжении всего цикла вне зависимости от стадии, на которой находится предприятие (подъём, кризис и т. д.).

В своем развитии предпринимательские структуры, аналогично живому организму, проходят несколько стадий, каждая из которых обладает своими отличительными характеристиками. К настоящему времени достаточно большое количество исследователей обратили свое внимание на организацию с точки зрения теории жизненных циклов: Л. Грейнер, Р. Куин, Дж. Рохрбау, Черчилл и Льюис, Дж. К. Гелбрейт, Н. Д. Кондратьев, Э. М. Коротков и др. Однако модели данных авторов обладают серьезными ограничениями их применения и, на наш взгляд, недостаточно полно описывают состояние организаций на пути их развития. По нашему мнению, наиболее применима в современных условиях хозяйствования модель И. Адизеса, предполагающая, что развитие организации подобно эволюции живого организма и на любой стадии развития у организации имеются проблемы (они делятся на болезни роста и организационные патологии).

В ходе анализа концепции развития предпринимательства выяснилось, что устойчивость развития предпринимательских структур обеспечивается путем реализации конкретных мероприятий как со стороны государства, так и непосредственно самой предпринимательской структурой [7]. Важнейшими организационными мерами, позволяющими организации предотвратить кризис, являются следующие: создание доброжелательных, доверительных отношений со всеми стейкхолдерами; свободное, непосредственное общение сотрудников со старшими менеджерами; формирование репутации компании, делающей свою работу качественно; организация систематического бизнес-планирования; ежегодный анализ слабых сторон организации; разработка комплексного плана действий в условиях кризиса; разработка понятной и общедоступной политики руководства и компании в целом; внимание к новым сотрудникам; применение технологий аутсорсинга.

Кроме того, этому способствуют такие действия руководства, как создание команды, налаженное управление бизнесом и создание в коллективе атмосферы поддержки и взаимопонимания. В качестве наиболее употребительных экономических мер отметим следующие: увеличение поступления денежных средств; сокращение расходов и снижение затрат; использование возможности государственной поддержки; сокращение активов; создание условий для получения дополнительной прибыли. Управление

устойчивым развитием должно сопровождаться разработкой взаимоувязанных и взаимообусловленных стратегий (базовых и функциональных) на основе концепции стратегического управления, предложенной автором [7]. Данная концепция предполагает учет этапа жизненного цикла, на котором находится организация. Это обеспечивает длительную жизнеспособность организации в условиях неопределенности и риска, а также возможность прогнозирования дальнейшего движения по кривой жизненного цикла организации, обеспечивая эффективность применения стратегического управления.

Таким образом, концепция устойчивого развития должна быть формализована в рамках предпринимательской структуры на определенный период времени в виде стратегии устойчивого развития [7]. Сформированная стратегия должна отвечать не только рассмотренным характеристикам, но и обладать возможностью ее изменения с учетом динамики среды, в которой функционирует предпринимательская структура (ПС). В работе разработаны методические положения проведения диагностики ПС на разных стадиях жизненного цикла на основе методов экономического, организационного, финансового и стратегического анализов [7]. Предложенная технология обеспечивает не только формирование направлений развития и конкретных мероприятий, но и адаптивность и устойчивость социально-экономической системы во время реализации стратегии.

4. Профессионализация управления. Эта тенденция заключается не только в профессиональной подготовке менеджеров и обеспечении им соответствующего образования, но и в таком построении организации управления, которое ориентировано на профессионализм управления (см. рисунок).

Для обеспечения максимального результата от работы персонала необходимо формирование механизма участия персонала в инновационных стратегиях организации. Под механизмом участия персонала в инновационных стратегиях понимают адекватную систему делового поведения личности и различных групп в процессе инновации на всех этапах инновационного процесса. Этапы зарождения инновации представляют собой концептуальное решение, интегрированное на основе данных SWOT-анализа, и необходимость данного поведения. Такая объективная необходимость вытекает из общественных потребностей, формируемых под воздействием рынка, а также интересов самих производителей и потребителей. На этой стадии в результате диагностики оценивается инновационная инфраструктура организации и готовность персонала к восприятию инновации.

Результаты диагностики являются основополагающим мотивом при оценке и отборе перспективного для данной организации радикального нововведения. На стадии такого отбора необходимо изучение всех ресурсов организации. Важна взаимоувязка в системе стратегий: общая стратегия и функциональные стратегии. На этапе освоения инновации резко возрастает значение мотивации деятельности персонала. Это происходит за счет учёта слабых и сильных сторон организации, а также возможностей и угроз функционирования и развития.

Управление развитием инновационного потенциала персонала организации

Инновационный замысел должен быть правильным не только по существу. Он должен быть подготовлен, принят и реализован в нужный и наиболее подходящий момент времени с оптимальным использованием системы мотивационного менеджмента и механизма управления деловой карьерой менеджера. Зарождение инновации влечет за собой потребность в инновационном потенциале персонала организации и его управлении. Управление развитием инновационного потенциала персонала организации имеет несколько этапов (см. рисунок) признание возможного допущения ошибок в поисковой работе; создание адекватной организационной культуры; формирование делового поведения персонала; использование модераторов инновационной деятельности. Прохождение данных этапов сопровождается рядом действий: расширение полномочий персонала; четкое формулирование стратегии организации; установление свободных коммуникаций на службе; поиск и привлечение необходимого персонала.

При эффективном управлении развитием инновационного потенциала персонала организации обеспечивается максимальный результат от внедрения стратегии. Влияние инновационной структуры рынка на организацию в целом создает механизм обеспечения персонала в инновационном процессе.

Таким образом, в статье определена необходимость и возможность использования результатов исследования как теоретической и методологической базы для проектирования управленческих бизнес-процессов конкурентоспособных стратегий, технологий участия персонала в инновационных стратегиях предприятия и механизмов управления организационной культурой. Современный менеджер сейчас, как правило, подготовлен к деятельности в квазистабильных условиях. Но жизнь – это не ровная дорога, а постоянные испытания и непредвиденные проблемы. Обязанность менеджера – уметь предвидеть возможные экстремальные ситуации и кризисы. Предвосхищая поток будущих изменений, он создает такое поле инноваций, которое позволит формировать и выполнять новые корпоративные стратегии. Профессиональные компетенции, дополненные знаниями и умениями подходов школ стратегического менеджмента, дают современному менеджеру уверенность в том, что спроектированная им организация будет функционировать и развиваться как «счастливый атом».

Библиографические ссылки

1. Данные Мирового банка [Электронный ресурс]. 2009. URL: http://info.worldbank.org/etools/kam2/KAM_page5.asp.

2. Министерство образования : офиц. сайт [Электронный ресурс]. 2010. URL: http://mon.gov.ru/files/materials/6511/doklad.pdf.

3. Карпенко О. М., Бершадская М. Д., Вознесенская Ю. А. Показатели уровня образования населения в странах мира: анализ данных международной статистики // Социология образования. 2008. № 6. С. 4–20.

4. Российский статистический ежегодник. 2009 : стат. сб. / Росстат. М., 2009.

5. Россия и страны мира. 2008 : стат. сб. / Росстат. М., 2008.

6. Аткинсон Р. Д., Анд С. М. Атлантический век: бенчмаркинг инновационной деятельности и конкурентоспособности ЕС и США : спец. отчет [Электронный ресурс]. 25 февраля. 2009. Статистика предоставлена OECD (1999–2005), UNESCO (2000–2006). URL: http://www.itif.org/index.php?id=226.

7. Чаплина А. Н., Герасимова Е. А. Формирование стратегии комплексного развития предпринимательской структуры : монография / Краснояр. гос. торгово-эконом. ин-т. Красноярск, 2009.

A. N. Chaplina

ACTUALIZATION OF PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF SERVICE SECTOR MANAGEMENT AND CONCEPTUAL BASE FOR THEIR DECISION

Tendencies and problems of service sector management are considered, and methodological priorities of management in this sphere are determined.

Keywords: service sector, management, innovative development.

© Чаплина А. Н., 2012

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 512.54

К. А. Филиппов

О ДИАМЕТРЕ КЭЛИ ОДНОЙ ПОДГРУППЫ ГРУППЫ $B_0(2,5)$

Пусть $\{x, y\}$ – порождающие элементы максимальной конечной группы периода 5 и $h_1 = xy$, $h_2 = yx$. Вычислена функция роста и диаметр Кэли подгруппы $H = \langle h_1, h_2 \rangle$.

Ключевые слова: проблема Бернсайда.

Свободной бернсайдовой группой периода n с m образующим называется группа $B(m,n) = F_m / F_m^n$, где F_m – свободная группа ранга m и F_m^n – ее подгруппа, порожденная всеми n-ми степенями элементов из F_m. Проблема Бернсайда для пары (m,n) звучит так: является ли группа $B(m,n)$ конечной? Как показали П. С. Новиков и С. И. Адян [1], ответ отрицательный, если $m \geq 2$ и $663 < n$ – достаточно большое нечетное число. Также С. В. Иванов [2] и И. Г. Лысёнок [3] показали, что $B(m,n)$ бесконечна, если $n \geq 2^{48}$ и n делится на 2^9 и $n = 16k \geq 8\,000$. Однако для небольших нечетных $n(5 \leq n \leq 663)$ и четных n, не удовлетворяющих условиям С. В. Иванова и И. Г. Лысёнока, проблема Бернсайда остается нерешенной.

Пусть $B_0(m,n) = F_m / U(m,n)$, где $U(m,n)$ – пересечение всех нормальных подгрупп $N \leq F_m$, для которых F_m / N – конечная группа периода n. Как показал А. И. Кострикин, $B_0(m,n)$ конечна, если n – простое число [4]. Эту теорему А. И. Кострикина Е. И. Зельманов обобщил для случая, когда n – степень простого числа [5]. Отсюда и из результатов Ф. Холла и Г. Хигмэна с использованием классификации конечных простых групп вытекает существование $B_0(m,n)$ для произвольных m и n [6]. Поскольку $B(2,5)$ является наименьшей из бернсайдовых групп, для которых решен вопрос об их конечности, любые сведения о ней и, в частности, о $B_0(2,5)$, интересны. Так, А. И. Кострикин установил границы для порядка группы $B_0(2,5)$: $5^{31} \leq |B_0(2,5)| \leq 5^{34}$ [4]. В 1974 г. Хавас, Уолл и Уэмсли [7] при помощи компьютерных вычислений нашли определяющие соотношения, определили точный порядок группы $B_0(2,5)$ который равен 5^{34}, и ступень нильпотентности данной группы, равную 12.

Рассмотрим в $B_0(2,5) = \langle x, y \rangle$ подгруппу $H_0 = \langle h_1, h_2 \rangle$, где $h_1 = xy$, $h_2 = yx$. Как отмечалось выше, сравнение групп $B(2,5)$ и $B_0(2,5)$ затруднено из-за большого порядка группы $B_0(2,5)$. Приводимая ниже теорема позволяет проводить сравнение группы H_0, имеющей порядок существенно меньше, чем 5^{34}, с ее аналогом H в группе $B_0(2,5)$.

Теорема. Диаметр Кэли группы H_0 относительно порождающих $\{h_1, h_2\}$ равен 45.

Доказательство. Непосредственные вычисления проводились на кластере института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Для работы было выделено 125 однородных вычислительных узлов в режиме непрерывного доступа. Каждый узел снабжен процессором с тактовой частотой 3 ГГц и ОЗУ 4 ГБ. В качестве программного инструмента была взята система компьютерной алгебры MATLAB 7.7.0.

Ниже приведена вычисленная функция роста элементов группы H_0 (см. таблицу), а также ее график (рис. 1). Часть элементов максимальной длины 45 группы H_0 в формате минимальных слов приведена на рис. 2.

Функция роста элементов группы H_0

Длина	Элементы	Длина	Элементы	Длина	Элементы
0	1	16	37254	32	561801464
1	2	17	70751	33	779044350
2	4	18	134224	34	936055279
3	8	19	254321	35	954336955
4	16	20	481252	36	831332170
5	30	21	909349	37	618248452
6	58	22	1714866	38	367604796
7	112	23	3226931	39	151894200
8	214	24	6055431	40	34898104
9	410	25	11319139	41	3181218

Продолжение таблицы

Длина	Элементы	Длина	Элементы	Длина	Элементы
10	784	26	21039700	42	69158
11	1495	27	38795471	43	800
12	2847	28	70686385	44	316
13	5417	29	126432849	45	158
14	10303	30	219647100	Всего	6103515625
15	19602	31	364201879		

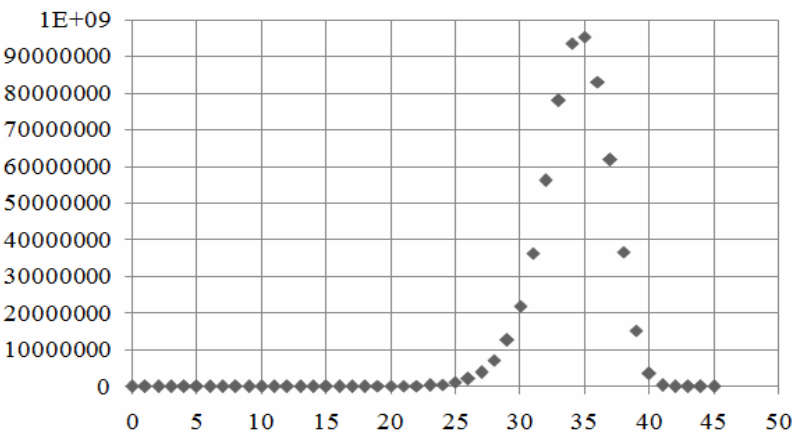


Рис. 1

1	00001000100111000101000011110011100110101011
2	00001000100101110000110111100010011010001 1011
3	00001000010011001100010101110011000100111 0111
4	00001000010101011010011001010111000101100 0111
5	00001000010111000101111001101000110110001 0011
6	00001000010111001101001000111101010001100 1011
7	00001000010101001110011101100110000101001 0111
8	00001000010100101100010011010110011100110 0111
9	00001000010001101110010111001100011001101 0011
0	00001000010111000010010110111101100011000 0111
11	00001000010010010110010011110011010001101 1011
12	00001000010010010101111011101100011010010 0011
13	00001000010100001110100100011011101111001 0011
14	00001000010100010000111010111011010101100 0111
15	00001000100110100010111011010011110010001 0011
16	00001000100110010110011100100111000100011 0111
17	00001000100111000110101001001101000111011 1001
18	00001000011010001110101101111001001000101 1001
19	00001000011000011101011010001101011100110 0101
20	00001000011110101110010001010010110000101 1011

Рис. 2

Библиографические ссылки

1. Адян С. И. Проблема Бернсайда и тождества в группах. М. : Наука, 1975.

2. Ivanov S. V. The free Burnside group of sufficiently large exponent // Intern. J. of Algebra and Computation. 1994. Vol. 4. P. 2.

3. Лысёнок И. Г. Бесконечные бернсайдовы группы четного периода // Изв. РАН. Сер. мат. 1996. Т. 60. С. 3–224.

4. Кострикин А. И. Решение ослабленной проблемы Бернсайда для показателя 5 // Изв. АН СССР. Сер. мат. 1995. Т. 19. № 3. С. 233–244.

5. Зельманов Е. И. Решение ослабленной проблемы Бернсайда для 2-групп // Мат. сб. 1991. Т. 182. № 4. С. 568–592.

6. Hall P., Higman G. On the p-length of p-soluble groups and reduction theorem of Burnside problem // Proc. London Math. Soc. 1956. Vol. 6. № 3. P. 1–42.

7. Havas G., Wall G., Wamsley J. The two generator restricted Burnside group of exponent five // Bull. Austral. Math. Soc. 1974. Vol. 10. P. 459–470.

K. A. Philippov

ABOUT CAYLEY DIAMETER OF ONE SUBGROUPE OF THE GROUPE $B_0(2,5)$

Let $\{x, y\}$ *be generators of the largest finite group of exponent 5 and* $h_1 = xy$, $h_2 = yx$. *The growth function and Cayley diameter are calculated for the subgroup* $H = \langle h_1, h_2 \rangle$.

Keywords: Burnside problem.

© Филиппов К. А., 2012

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.

Абрамова Евгения Сергеевна – инженер-исследователь кафедры радиопередающих устройств и электропитания Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончила Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики в 2011 г. Область научных интересов – генераторное оборудование. Т. 8(383)262-07-76.

Аверьянов Геннадий Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой авиа- и ракетостроения Омского государственного технического университета. Окончил Омский политехнический институт в 1973 г. Область научных интересов – виброударозащитные устройства. Т. 8(381)265-96-77.

Аврамчикова Надежда Тимофеевна – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и информационных технологий менеджмента института управления бизнес-процессами и экономики Сибирского федерального университета. Окончила Саратовский экономический институт в 1971 г. Область научных интересов – региональная экономика, статистика, государственное и муниципальное управление. E-mail: avr-777@yndex.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, сканирующая зондовая микроскопия. E-mail: agalex-2002@yandex.ru.

Амельченко Николай Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1977 г. Область научных интересов – механика, технология обработки, плазменные процессы, вибрация, нанотехнологии. Т. 8(391)291-91-34.

Аметова Эвелина Серверовна – магистрант Томского политехнического университета, программист кафедры автоматики и компьютерных систем института кибернетики Томского политехнического университета. Область научных интересов – бизнес-моделирование, системы управления данными. E-mail: zlatco@mail2000.ru.

Бакин Андрей Анатольевич – ассистент кафедры управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – моделирование электродинамических процессов антенно-фидерных устройств. E-mail: sibgau-uks@mail.ru.

Бахмарева Наталья Владимировна – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2005 г. Область научных интересов – реорганизация систем управления, процессный подход к управлению, экономический анализ деятельности предприятия, методика преподавания экономических дисциплин. E-mail: bahmareva@mail.ru.

Белоусов Вячеслав Константинович – начальник вычислительной лаборатории ОАО «Сплав» (Великий Новгород). Окончил Ленинградский электротехнический институт в 1978 г. Область научных интересов – вычислительная гидрогазодинамика и теплофизика, интенсификация теплопередающих характеристик тепловых труб. E-mail: bel_vk@mail.natm.ru.

Белякова Елена Владимировна – доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой логистики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1996 г. Область научных интересов – логистика, региональная экономика. E-mail: ev_belyakova@rambler.ru.

Бузаев Дмитрий Васильевич – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – обработка, сегментация и анализ изображений, фильтрация изображений, локализация областей интереса на изображении, распознавание объектов, применение фильтров для обработки изображений. E-mail: dimer90@gmail.com.

Бурмак Влада Игоревна – студент института математики Сибирского федерального университета. Область научных интересов – дифференциальные уравнения, группы Ли. E-mail: lada-burmak@yandex.ru.

Бычков Петр Степанович – кандидат технических наук, доцент кафедры композиционных материалов и физикохимии металлургических процессов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет в 1972 г. Область научных интересов – полупроводники. E-mail: fiz-chim@mail.ru.

Вавилов Денис Владимирович – кандидат технических наук, инженер САПР «Красноярская инжиниринговая компания». Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – вычислительное модели-

рование, механика разрушения, приводные системы, зубчатые передачи. E-mail: exceptme@yandex.ru.

Вахрин Виктор Владимирович – технолог ОАО «Германий». Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – дефекты кристаллического строения, технология полупроводников. E-mail: witus@mail.ru.

Вичугов Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и компьютерных систем института кибернетики Томского политехнического университета. Окончил Томский политехнический университет в 2004 г. Область научных интересов – программирование, интернет-технологии. E-mail: vlad@aics.ru.

Вичугова Анна Александровна – аспирант Томского политехнического университета, ассистент кафедры автоматики и компьютерных систем института кибернетики Томского политехнического университета. Окончила Томский политехнический университет в 2009 г. Область научных интересов – бизнес-моделирование, системы управления данными. E-mail: anya@aics.ru.

Воейкова Ольга Борисовна – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1994 г. Область научных интересов – инновационное развитие региона, интеграция высшей школы и промышленности в регионе, высокотехнологичные производства, аэрокосмическое образование. E-mail: olgavoeykova@yandex.ru.

Вшивков Александр Юрьевич – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, испытатель 2-й категории ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – техническая физика и теплофизика. E-mail: apreach@mail.ru.

Ганенко Сергей Алексеевич – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, инженер-конструктор 4-й категории ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – техническая физика и теплофизика. E-mail: sergeyG121@yandex.ru.

Гасенко Екатерина Валерьевна – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – региональная экономика, сфера услуг, инновации и инвестиции в управлении человеческими ресурсами. E-mail: kath.gasenko@ya.ru.

Гильц Надежда Евгеньевна – старший преподаватель кафедры логистики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – инструменты и методы менеджмента промышленных предприятий, отраслей, комплексов. E-mail: negilts@mail.ru.

Головенкин Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой космического машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Казанский авиационный институт в 1964 г. Область научных интересов – проектирование и конструирование систем и космических аппаратов, управление инновациями. E-mail: mgv@iss-reshetnev.ru.

Гребенников Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектронных систем института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1988 г. Область научных интересов – радионавигация. E-mail: berg24@mail.ru.

Гусельников Александр Сергеевич – кандидат технических наук, инженер-исследователь кафедры радиопередающих устройств и электропитания Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики в 1997 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация. Т. 8(383)260-46-91.

Двирный Гурий Валерьевич – инженер-испытатель отдела механических испытаний отраслевого центра крупногабаритных механических систем ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – испытание космических аппаратов, их систем и агрегатов. E-mail: dvirniyguriy@iss-reshetnev.ru.

Добросмыслов Сергей Сергеевич – младший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – материаловедение, наноструктуры. E-mail: dobrosmislov.s.s@gmail.com.

Ереско Владимир Сергеевич – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – механика, компьютерные технологии, CALS-технологии, автоматизация, программирование. E-mail: wer125@list.ru.

Ереско Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Сибирской академии наук высшей школы, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры основ конструирования машин Сибирского государственного аэрокосмиче-

ского университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1975 г. Область научных интересов – машиноведение, системы приводов, эластогидродинамические задачи обеспечения герметичности гидропневмовакуумных систем, триботехнические задачи, математическое моделирование, системный анализ. E-mail: eresko07@mail.ru.

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 – терморегулирующие, защитные, радиотехнические, композиционные материалы и покрытия для применения в космической отрасли. E-mail: ermolaev@iss-reshetnev.ru.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, декан инженерно-экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Алтайский политехнический институт имени И. И. Ползунова в 1985 г., аспирантуру Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина в 1989 г. Область научных интересов – стратегический и инновационный менеджмент. E-mail: yuri_erygin@mail.ru.

Жариков Вадим Николаевич – инженер-конструктор отдела проектирования и испытаний радиоэлектронной аппаратуры ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – методы проектирования магистрально-модульных систем. E-mail: jharikov@iss-reshetnev.ru.

Жигалов Виктор Степанович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1962 г. Область научных интересов – твердофазный синтез тонких пленок и изучение свойств полученных структур. E-mail: zhigalov@iph.krasn.ru.

Жуков Вадим Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – интеллектуальные технологии анализа данных, биоинспирированные алгоритмы моделирования и оптимизации, методы и средства обнаружения инцидентов информационной безопасности. E-mail: vadimzhukov@mail.ru.

Жукова Марина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – интеллектуальные технологии анализа данных, эволюционные алгоритмы моделирования и оптимизации, методы и средства обнаружения инцидентов информационной безопасности, управление безопасностью. E-mail: mariem@inbox.ru.

Зеленская Татьяна Васильевна – доктор экономических наук, профессор кафедры международного кадрового и проектного управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, заместитель главы города – руководитель департамента экономики администрации города Красноярска. Окончила Новосибирский филиал Московского технологического института легкой промышленности в 1980 г. Область научных интересов – инновационная инвестиционная деятельность. E-mail: econom@admkrsk.ru.

Зинина Ольга Вячеславовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный аграрный университет в 1999 г. Область научных интересов – инновационный менеджмент. E-mail: zinnia.olga@bk.ru.

Зотин Александр Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2005 г. Область научных интересов – обработка, сегментация и анализ изображений, фильтрация изображений, локализация областей интереса на изображении, распознавание объектов, применение фильтров для обработки изображений. E-mail: zotinkrs@gmai.com.

Иптышев Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, исполнительный директор Красноярского государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». Окончил Хакасский технический институт – филиал Красноярского государственного технического университета в 1998 г. Область научных интересов – приводные системы, зубчатые передачи, приводы специального назначения, системный анализ, инновационный менеджмент. E-mail: i@sf-kras.ru.

Казанцев Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 1998 г. Область научных интересов – спутниковая навигация. E-mail: kazantsev_m@mail.ru.

Карпенко Екатерина Валерьевна – магистрант Сибирского федерального университета. Область научных интересов – микроэнергетика. E-mail: cat.kras@gmail.com.

Кацура Александр Владимирович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Иркутский политехнический институт в 1982 г. Область научных интересов – прочность, техническая эксплуатация и ремонт авиационной техники. E-mail: katsu60@mail.ru.

Кирко Владимир Игоревич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента производственных и социальных технологий института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончил Новосибирский государственный университет в 1974 г. Область научных интересов – материаловедение, наноструктуры. E-mail: director.nifti@mail.ru.

Ковалев Григорий Валерьевич – курсант Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации. Область научных интересов – авиационная техника, авиационные приборы связи и местоопределения. E-mail: art3456@rambler.ru.

Колбасина Наталья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств политихнического института Сибирского федерального университета. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет в 1996 г. Область научных интересов – микроэнергетика. E-mail: natalya-kolbasina@yandex.ru.

Кондратьев Андрей Сергеевич – старший преподаватель кафедры радиоэлектронных систем института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2000 г. Область научных интересов – радионавигация, цифровая обработка сигналов. E-mail: and-serg@mail.ru.

Конькин Александр Владимирович – инженер ОАО «Специальное конструкторско-технологическое бюро по релейной технике» (Великий Новгород). Окончил Новгородский государственный университет в 2007 г. Область научных интересов – вычислительная гидрогазодинамика, интенсификация теплопередающих характеристик тепловых труб. E-mail: konkin_a_v@mail.ru.

Коромыслов Никита Андреевич – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – интеллектуальные технологии анализа данных, управление безопасностью. E-mail: koromyslov_nikit@list.ru.

Кочура Сергей Григорьевич – заместитель генерального конструктора по электрическому проектированию и системам испытаний космических аппаратов ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1978 г. Область научных интересов – электрическое проектирование и испытания систем электропитания, систем управления и космических аппаратов, обеспечение стойкости космических аппаратов к воздействию факторов космического пространства естественного и техногенного происхождения. E-mail: kochura@iss-reshetnev.ru.

Краев Виктор Владимирович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – технология машиностроения. E-mail: victor36@yandex.ru.

Краев Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик Российской академии естественных наук, Академии космонавтики имени К. Э. Циолковского, Международной академии наук высшей школы. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – гидродинамика систем и агрегатов подачи энергодвигательных установок летательных аппаратов. Т. 8(391)262-95-61.

Краснобаев Юрий Вадимович – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1983 г. Область научных интересов – автоматизация исследования и проектирования вторичных источников питания. E-mail: uvkras@mail.ru.

Крат Светлана Александровна – ведущий инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники в 1991 г. Область научных интересов – моделирование светооптических схем, системы управления. E-mail: kratsv@iss-reshetnev.ru.

Крушенко Генрих Гаврилович – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, главный научный сотрудник отдела машиноведения Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Омский машиностроительный институт в 1955 г. Область научных интересов – повышение качества металлоизделий машиностроительного профиля. E-mail: genry@icm.krasn.ru.

Кузнецов Александр Алексеевич – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государст-

венный университет в 2002 г. Область научных интересов – математическое моделирование инновационных процессов. E-mail: alex_kuznetsov80@mail.ru.

Кузовников Александр Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры космических информационных систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, ведущий менеджер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – радиотехника, радиолокация, цифровая обработка сигналов. E-mail: ujub@list.ru.

Лавренов Владимир Алексеевич – доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Киевскую военную авиационную академию в 1985 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация авиационной техники. E-mail: katsu60@mail.ru.

Лавров Виктор Иванович – заместитель генерального конструктора ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1975 г. Область научных интересов – радиотехника, радиолокация, цифровая обработка сигналов. Т. 8(39197)6-49-20.

Левко Валерий Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1988 г. Область научных интересов – повышение качества поверхностного слоя деталей летательных аппаратов. E-mail: levko@sibsau.ru.

Лопатин Илья Александрович – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, лаборант Научно-исследовательского института ракетно-космической техники и технологий. Область научных интересов – теория конечных групп, теория разбиений натурального числа, математическое моделирование. E-mail: alvamgen@gmail.com, releu@yandex.ru.

Лячин Максим Александрович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, ассистент кафедры международного кадрового и проектного управления 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 – региональная экономика, сфера услуг, инновации и инвестиции в управлении человеческими ресурсами. E-mail: Lmaxa@mail.ru.

Максименко Вениамин Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной математики Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1971 г. Область научных интересов – математические задачи механики разрушения, прогнозирование характеристик эксплуатационной живучести и оптимального проектирования конструкций из композитных материалов. Т. 8(383)346-07-33.

Максимов Игорь Александрович – доктор технических наук, начальник отдела ЭМС, ЭСР и ФКП ОАО «Информационно-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@iss-reshetnev.ru.

Медведев Алексей Викторович – доктор физико-математических наук, профессор, доцент кафедры высшей математики Кемеровского государственного университета. Окончил Кемеровский государственный университет в 1985 г. Область научных интересов – математическая экономика, моделирование динамики крупных экономических систем. E-mail: alexm_62@mail.ru.

Медведев Вадим Викторович – глава города Железногорска. Окончил Красноярский государственный университет в 1993 г. Область научных интересов – региональная экономика, статистика, государственное и муниципальное управление. E-mail: mvv@adm.k26.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 Денис Иванович – старший преподаватель кафедры конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – микроэнергетика. E-mail: danner2@mail.ru.

Мягков Виктор Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный педагогический институт в 1967 г. Область научных интересов – твердофазный синтез тонких пленок и изучение свойств полученных структур. E-mail: miagkov@iph.krasn.ru.

Нагибин Геннадий Ефимович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет в 1980 г. Область научных интересов – материаловедение, теплофизические свойства веществ. E-mail: nagibin1@gmail.ru.

Надирадзе Андрей Борисович – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры электроракетных двигателей и энергетических установок Московского авиационного института (национального исследовательского 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 Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации, докторант кафедры телекоммуникаций Ульяновского государственного технического университета, член Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А. С. Попова. Окончил Военную академию связи имени С. М. Буденного в 1997 г. Область научных интересов – моделирование и разработка методов реализации ресурсов ретрансляционных узлов в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: art3456@rambler.ru.

Немцев Иван Васильевич – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – электронная микроскопия. E-mail: ivan_nemtsev@mail.ru.

Нигруца Игорь Владимирович – магистрант Сибирского федерального университета. Область научных интересов – радионавигация. E-mail: almodey@rambler.ru.

Носов Александр Владимирович – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – обработка, сегментация и анализ изображений, фильтрация изображений, локализация областей интереса на изображении, распознавание объектов, применение фильтров для обработки изображений. E-mail: alrussia-ru@mail.ru.

Оборина Людмила Ивановна – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, инженер-менеджер фирмы «Союз». Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – менеджмент качества, технологическое обеспечение качества, антенно-фидерные устройства. E-mail: sibgau-uks@mail.ru.

Олейник Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры корпоративных информационных систем Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». Окончил Харьковское высшее военное авиационное инженерное училище в 1981 г. Область научных интересов – синтез и анализ информационных систем, разработка математического и алгоритмического обеспечения авиационных систем, оценка надежности информационных систем. E-mail: aoleynik@hse.ru.

Павлов Иван Иванович – кандидат технических наук, инженер эксплуатации базовых станций ЗАО «Мобиком-Новосибирск». Окончил Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики в 2007 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация. Т. 8(383)262-07-76.

Парфенова Светлана Леонидовна – доцент кафедры международного кадрового и проектного управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярскую государственную академию цветных металлов и золота в 1995 г. Область научных интересов – форсайт технологий, устойчивое развитие комплексов, управление проектами. E-mail: parfyonova.s.l@yandex.ru.

Паршин Анатолий Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент, 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, сканирующая зондовая микроскопия. E-mail: aparshin@sibsau.ru.

Перчун Алексей Алексеевич – доцент учебного военного центра института военно-технического образования Омского государственного технического университета. Окончил Военную академию связи имени С. М. Буденного в 2006 г. Область научных интересов – системы управления виброзащитными устройствами. Т. 8(381)265-96-77.

Пичкалев Александр Валерьевич – начальник группы разработки специальной испытательной аппаратуры отдела проектирования и испытаний радиоэлектронной аппаратуры ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Ленинградский механический институт имени маршала Д. Ф. Устинова в 1991 г. Область научных интересов – автоматизированные системы управления и контроля. E-mail: al-mail@iss-reshetnev.ru.

Подвербных Ольга Ефимовна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой международного кадрового и проектного управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский технологический институт в 1988 г. Область научных интересов – региональная экономика, сфера услуг, инновации и инвестиции в управлении человеческими ресурсами. E-mail: podverbnih@sibsau.ru.

Подкопаев Олег Иванович – кандидат технических наук, директор ОАО «Германий». Окончил

Красноярский институт цветных металлов в 1974 г. Область научных интересов – дефекты кристаллического строения, технология полупроводников. E-mail: germanium@krasmail.ru.

Попов Захар Иванович – младший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – материаловедение, теплофизические свойства веществ. E-mail: zipcool@bk.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, инновационное развитие региональной экономики. E-mail: pgi90@bk.ru.

Портнова Александра Анатольевна – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, заместитель начальника отдела планирования, статистики и прогнозирования департамента экономики администрации города Красноярска. Окончила Красноярский государственный университет в 2002 г. Область научных интересов – экономика и управление народным хозяйством, региональная экономика, социально-экономическое планирование и прогнозирование. E-mail: vera@admkrsk.ru.

Пост Сергей Сергеевич – студент Сибирского федерального университета. Область научных интересов – моделирование процессов в системах электропитания. E-mail: serseric@mail.ru

Раменская Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1995 г. Область научных интересов – перспективные технологии в машиностроении, вибрация в металлорежущих станках. E-mail: lena@kraslan.ru.

Рахматуллин Рустам Ранисович – инженер НИО-208 Московского авиационного института (национального исследовательского университета). Окончил Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) в 2011 г. Область научных интересов – воздействие внешних факторов на элементы конструкции космических аппаратов. E-mail: nadiradze@mail.ru.

Резинкина Оксана Анатольевна – младший научный сотрудник Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 2003 г. Область научных интересов – материаловедение, теплофизические свойства веществ. E-mail: r_oxsy@mail.ru.

Резников Борис Самуилович – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной математики Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1967 г. Область научных интересов – математическое моделирование в механике конструкций из анизотропных материалов. Т. 8(383)346-07-33.

Рогалев Александр Алексеевич – магистрант Сибирского федерального университета. Область научных интересов – численные алгоритмы решения задач в условиях неопределенности, термодинамика информационных процессов, методы обработки результатов измерений. E-mail: ran@akadem.ru.

Рогалев Алексей Николаевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1977 г. Область научных интересов – надежные численные методы решения дифференциальных уравнений, методы оценки множеств достижимости, задачи практической устойчивости. E-mail: rogalyov@icm.krasn.ru.

Рыбакова Александра Николаевна – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – твердофазный синтез тонких пленок, изучение свойств полученных структур. E-mail: sashely2008@rambler.ru.

Самохвалова Светлана Михайловна – кандидат экономических наук, доцент кафедры международного кадрового и проектного управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 1997 г. Область научных интересов – стратегическое управление инновационным развитием высшей школы. E-mail: merlanabox@mail.ru.

Семенкин Евгений Станиславович – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, интеллектуальные информационные технологии. E-mail: eugensemenkin@yandex.ru.

Семячков Виктор Анатольевич – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – твердофазный синтез тонких пленок и изучение свойств полученных структур. E-mail: viktorsa@inbox.ru.

Серяков Аркадий Владимирович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ОАО «Специальное конструкторско-технологическое бюро по релейной технике» (Великий Новгород). Окончил Кемеровский государственный университет в 1978 г. Область научных интересов – физика низких температур, экспериментальная теплофизика, теплофизические свойства веществ, интенсификация теплопередающих характеристик тепловых труб. E-mail: seryakovav@yandex.ru.

Смирнов Александр Павлович – аспирант Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – вычислительное моделирование, разработка программного обеспечения, системы приводов, зубчатые передачи. E-mail: smirnov1286@gmail.com.

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 в 1985 г. Область научных интересов – прогнозирование воздействия собственной атмосферы, плазмы электроракетных двигателей и метеорно-техногенных частиц на функционирование космического аппарата. E-mail: smirnov@iss-reshetnev.ru.

Сомов Виктор Григорьевич – доктор технических наук, профессор кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Военную инженерную радиотехническую академию ПВО в 1984 г. Область научных интересов – радиотехника, радиолокация. Т. 8-913-557-53-19.

Суханова Юлия Алексеевна – аспирант Томского политехнического университета, ассистент кафедры автоматики и компьютерных систем института кибернетики Томского политехнического университета. Окончила Томский политехнический университет в 2010 г. Область научных интересов – бизнес-моделирование, системы управления данными. E-mail: suya@aics.ru.

Сычева Елена Михайловна – старший преподаватель кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2000 г. Область научных интересов – экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами промышленности, управление производственной программой в различных условиях хозяйствования подразделения предприятия. E-mail: Ponosova_lena@mail.ru.

Таюрский Анатолий Иванович – доктор экономических наук, директор Института проблем непрерывного образования. Окончил Сибирский технологический институт в 1975 г. Область научных интересов – экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами в промышленности. E-mail: naukaobr@mail.ru.

Трегубов Сергей Иванович – доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1973 г. Область научных интересов – проектирование электронных средств, компьютерные технологии, CALS-технологии, автоматизация. E-mail: tregubov-020151@mail.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, технология производства антенно-фидерных устройств. E-mail: sibgau-uks@mail.ru.

Тупицын Илья Владимирович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – цифровая обработка изображений и видеопоследовательностей, стереозрение, реконструкция изображений, распознавание образов. E-mail: toupitsyn@gmail.com.

Учуватов Михаил Сергеевич – студент Сибирского федерального университета. Область научных интересов – электроника, компьютерные технологии, CALS-технологии, автоматизация. E-mail: retfil88@mail.ru.

Фаворская Маргарита Николаевна – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Рыбинский авиационный технологический институт в 1980 г. Область научных интересов – цифровая обработка изображений и видеопоследовательностей, распознавание образов, фрактальная обработка изображений, искусственный интеллект, информационные технологии. E-mail: favorskaya@sibsau.ru.

Филиппов Константин Анатольевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и информационно-компьютерной безопасности Красноярского государственного аграрного университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2000 г. Область научных интересов – алгебра. E-mail: filippov_kostya@mail.ru.

Филиппов Юрий Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский технологический институт в 1968 г. Область научных интересов – моделирование, вибрация технологического оборудования, механика технологических процессов. Т. 8(391)291-91-34.

Фролова Анна Ивановна – ассистент кафедры экономики и управления на предприятии Лесосибирского филиала Сибирского государственного технологического университета. Окончила Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета в 2009 г. Область научных инте-

ресов – социально-экономическое развитие муниципальных образований Красноярского края. E-mail: frolovaannaiv@mail.ru.

Хамитов Рустам Нуриманович – кандидат технических наук, доцент кафедры авиа- и ракетостроения Омского государственного технического университета. Окончил Омский политехнический институт в 1984 г. Область научных интересов – виброзащитные устройства с управляемыми амортизаторами. E-mail: apple_27@ mail.ru.

Харламов Валерий Анатольевич – ведущий инженер-испытатель ОАО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1971 г. Область научных интересов – технологии терморегулирующих и радиотехнических вакуумных покрытий для применения в космической технике. E-mail: trp@iss-reshetnev.ru.

Цапко Сергей Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и компьютерных систем института кибернетики Томского политехнического университета. Окончил Томский политехнический университет в 1998 г. Область научных интересов – программирование, технологии информационной поддержки жизненного цикла изделий. E-mail: serg@aics.ru.

Чаплина Альбина Николаевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента Красноярского торгово-экономического института. Окончила Сибирский технологический институт в 1976 г. Область научных интересов – управление организацией. E-mail: km.kgtei@mail.ru.

Чернятина Анастасия Александровна – начальник группы вакуумных покрытий ОАО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Красноярский государственный университет в 2000 г. Область научных интересов – терморегулирующие и радиотехнические вакуумные покрытия для применения в космической отрасли. E-mail: trp@iss-reshetnev.ru.

Чубарь Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, руководитель научно-учебной лаборатории АСУТП кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1980 г. Область научных интересов – автоматизация управления техническими системами и технологическими процессами. E-mail: alexchub@mail.ru.

Шабанов Александр Васильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1993 г. Область научных интересов – теоретическая физика, электронная микроскопия, фотонные кристаллы. E-mail: alexch@nikel.akadem.ru.

Шабанова Ольга Вильгельмовна – инженер-технолог специального конструкторско-технологического бюро «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный университет в 1995 г. Область научных интересов – органическая химия, органический катализ, синтез инвертированных опаловых структур. E-mail: OllaCh@yandex.ru.

Шаршавин Петр Владимирович – магистрант Сибирского федерального университета. Область научных интересов – спутниковая радионавигация, цифровая обработка сигналов. E-mail: sharshavin@mail.ru.

Шеремет Оксана Владиславовна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры инженерной математики Новосибирского государственного технического университета. Окончила Челябинский государственный университет в 1991 г. Область научных интересов – математическое моделирование в механике конструкций из анизотропных материалов. E-mail: oxs@ngs.ru.

Шигина Анна Васильевна – студент Сибирского федерального университета. Область научных интересов – приводные системы. E-mail: anyou-tka@mail.ru.

Шиманский Александр Федорович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой композиционных материалов и физикохимии металлургических процессов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский институт цветных металлов в 1972 г. Область научных интересов – физическое материаловедение, дефекты кристаллического строения, технология полупроводников. E-mail: shimanaf@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Аметова Э. С., Вичугова А. А., Вичугов В. Н., Суханова Ю. А., Цапко С. Г. Проект построения единого информационного пространства для процессов создания бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» 4

Бурмак В. И. Оптимальные системы подалгебр и инвариантные решения уравнений пластичности плоского напряженного состояния 10

Жариков В. Н., Пичкалев А. В. Проблемы отработки программного обеспечения бортовой радиоэлектронной аппаратуры 15

Жуков В. Г., Жукова М. Н., Коромыслов Н. А. Применение нечетких искусственных иммунных систем в задаче построения адаптивных самообучающихся средств защиты информации 18

Зотин А. Г., Носов А. В., Бузаев Д. В. Анализ пригодности методов сегментации для локализации объектов на основе цветовых и структурных признаков 23

Лопатин И. А. Решение вариационной задачи по выбору оптимальной формы сжатого стержня 28

Максименко В. Н., Резников Б. С., Шеремет О. В. Структурный анализ прочности макронеоднородных сред при плоском напряженном состоянии 31

Михеенко А. М., Абрамова Е. С., Гусельников А. С., Павлов И. И., Абрамов С. С. Анализ резонансных явлений в выходной цепи двухтактного усилителя мощности класса D 35

Морозов Д. И., Карпенко Е. В., Колбасина Н. А. Оптимизационный синтез параметров низкоскоростного торцевого синхронного генератора 38

Назаров С. Н., Ковалев Г. В. Методы повышения эффективности функционирования высокомобильных абонентов в сети широкополосного доступа на основе реализации технологии разнесенного приема и мобильных платформ 43

Пост С. С., Краснобаев Ю. В., Чубарь А. В. Разработка и исследование энергетических моделей импульсных стабилизаторов напряжения 48

Рогалев А. Н., Рогалев А. А. Численный расчет включений фазовых состояний в задачах наблюдения за движением самолета 53

Трегубов С. И., Учуватов М. С., Ереско В. С. Этапы внедрения CALS-технологий на малых предприятиях 58

Фаворская М. Н., Тупицын И. В. Иерархический метод поиска соответствующих точек на стереоизображениях 62

Филиппов К. А. О периодической части группы Шункова, насыщенной L_2 (p^n) 67

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Вшивков А. Ю., Головенкин Е. Н., Крат С. А., Ганенко С. А. Разработка методологии электротермовакуумных испытаний в части обеспечения температурного режима малого космического аппарата «Юбилейный-2» (МиР) 74

Двирный Г. В., Ереско С. П. Наземная экспериментально-теоретическая отработка антенн космического аппарата 78

Краев М. В. Турбулентная неустойчивость поверхности «жидкость – газ» полостей вращения роторных гидромашин 80

Лавренов В. А., Кацура А. В. Влияние термоэкспозиции и периода эксплуатации на усталостную долговечность планера летательного аппарата 83

Лавров В. И., Кузовников А. В., Сомов В. Г. Методика анализа радиотехнических характеристик однорефлекторной гибридно-зеркальной антенны со смещенным рефлектором 86

Надирадзе А. Б., Рахматуллин Р. Р., Кочура С. Г., Максимов И. А., Смирнов В. А. Особенности экспериментального определения стойкости композиционных материалов к эрозионному воздействию струй стационарных плазменных двигателей 91

Нигруца И. В., Гребенников А. В., Казанцев М. Ю. Система посадки по сигналам псевдоспутников 96

Олейник А. И. Метод расширения диапазона измерения аэродинамических параметров полета маневренного самолета 100

Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С., Перчун А. А. Режимы работы двухобъемного пневмоамортизатора с повышенным демпфированием 104

Шаршавин П. В., Кондратьев А. С., Гребенников А. В. Применение цифровой регистрации для повышения точностных характеристик измерения псевдодальности по сигналам спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS 109

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

Бакин А. А., Оборина Л. И., Трифанов И. В. Расчет параметров двухзеркального лучевода 114
Добросмыслов С. С., Кирко В. И., Нагибин Г. Е., Резинкина О. А., Попов З. И. Особенности физико-механических и высокотемпературных электрофизических свойств керамических полупроводниковых материалов на основе SnO_2 с добавками MnO_2 и CuO 118
Краев В. В., Крушенко Г. Г. Расчетно-аналитический метод выбора припусков на обработку резанием деталей силовых агрегатов 122
Немцев И. В., Шабанов А. В., Шабанова О. В. Исследование сферических частиц полиметилметакрилата и искусственных опалов на их основе методом растровой электронной микроскопии 126
Подкопаев О. И., Шиманский А. Ф., Бычков П. С., Вахрин В. В. Влияние содержания оптически активного кислорода на дефектную структуру монокристаллического германия 129
Раменская Е. В., Филиппов Ю. А., Амельченко Н. А. Механизм генерирования и распространения вибрации в технологических машинах 132
Семячков В. А., Рыбакова А. Н., Жигалов В. С., Мягков В. Г. Твердофазные реакции в пленочных двуслойных структурах переходных металлов 138
Серяков А. В., Конькин А. В., Белоусов В. К. Применение струйного парового сопла в тепловых трубах среднетемпературного диапазона 142
Смирнов А. П., Иптышев А. А., Вавилов Д. В., Шигина А. В. Проектирование зубчатой передачи внутреннего зацепления с малой разностью чисел зубьев. Объектно-ориентированный подход 147
Чернятина А. А., Харламов В. А., Ермолаев Р. А., Паршин А. С., Александрова Г. А. Экспериментальное исследование радиопрозрачного терморегулирующего покрытия для применения в солнцезащитных экранах 153

РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА

Аврамчикова Н. Т., Фролова А. И. Роль и значимость интегрального показателя «валовой муниципальный продукт» в проведении мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований 160
Белякова Е. В., Парфенова С. Л. Методика формирования стратегии развития машиностроительной отрасли в регионе сырьевой направленности 164
Воейкова О. Б., Кузнецов А. А. Проблемы интеграции российской высшей школы в международный рынок научно-инновационной продукции и образовательных услуг 170
Ерыгин Ю. В., Зинина О. В. Формы и методы интеграции вузовской науки в национальную инновационную систему: мировой и российский опыт 175
Зеленская Т. В., Портнова А. А. Проблемы стратегического планирования: разработка и обеспечение реализации долгосрочной программы социально-экономического развития муниципального образования в условиях инновационного сценария на примере города Красноярска 180
Кузнецов А. А., Самохвалова С. М. Условия реализации стратегии инновационного развития вуза 187
Левко В. А., Бахмарева Н. В. Методы и инструменты управления основными фондами предприятий ракетно-космической промышленности 190
Левко В. А., Сычева Е. М. Формирование производственной программы предприятия оборонно-промышленного комплекса: особенности, ограничения и критерии 196
Медведев В. В. Энергокосмический кластер как основа инновационного развития территории 200
Подвербных О. Е., Гасенко Е. В. Механизм управления инновационным потенциалом персонала наукоемкого предприятия 206
Подвербных О. Е., Лячин М. А. Лояльность персонала как фактор развития инновационной экономики 210
Поподько Г. И. Анализ условий и факторов создания Красноярской агломерации 215
Семенкин Е. С., Медведев А. В. Экономико-математическое моделирование инновационного развития экономических систем 220
Таюрский А. И., Гильц Н. Е. Принципы мониторинга развития конверсионного производства 223
Чаплина А. Н. Актуализация проблем развития менеджмента сферы услуг и концептуальные основы их решения 227

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Филиппов К. А. О диаметре КЭЛИ одной подгруппы группы B_0 (2,5) 234

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 237

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, COMPUTER SCIENCE

Ametova A. S., Vichugova A. A., Vichugov V. N., Sukhanova Yu. A., Tsapko S. G. Project of development of united information space for the processes of generation of onboard electronic equipment of spacecrafts at JSC «ISS» named after academician M. F. Reshetnev» 4
Burmak V. I. Optimal systems of subalgebras admitted by equations of plasticity 10
Jarikov V. N., Pichkalev A. V. Problems of optimisation of software of on-board radio-electronic equipment 15
Zhukov V. G., Zhukova M. N., Koromyslov N. A. Application of fuzzy artificial immune systems in the task of construction of adaptive self-learning information security system 18
Zotin A. G., Nosov A. V., Buzaev D. V. Analysis of suitability of segmentation methods based on color and structural features for localization of objects 23
Lopatin I. A. Solution of the variational problem for the optimal compress rod shape 28
Maksimenko V. N., Reznikov B. S., Sheremet O. V. Structural analysis of durability of macroheterogeneous solids under plane stress state 31
Miheenko A. M., Abramova E. S., Guselnikov A. S., Pavlov I. I., Abramov S. S. Analysis of the resonance phenomenas in output circuit of a duo-directional power amplifier of D class 35
Morozov D. I., Karpenko E. V., Kolbasina N. A. Optimising synthesis of a low-speed butt alternator characteristics 38
Nazarov S. N., Kovalyov G. V. Methods of effectivization of highly mobile subscribers operability in a broadband access network on the basis of realisation of technology of a diversity reception and mobile platforms 43
Post S. S., Krasnobaev Yu. V., Chubar A. V. Development and investigation of energetic models of pulse voltage stabilizers 48
Rogalyov A. N., Rogalyov A. A. Numerical computations of phase states inclusions for problems of aircraft displacement inspection 53
Tregubov S. I., Uchuvatov M. S., Eresko V. S. CALS-technologies introduction stages at small enterprises 58
Favorskaya M. N., Tupitsyn I. V. Hierarchical method of search of corresponding points at stereoimages 62
Philippov K. A. About the periodic part of the Shunkov's group, saturated with L_2 (p^n) 67

PART 2. AVIATIONAND SPACE-ROCKET ENGINEERING

Vshivkov A. Yu., Golovenkin E. N., Krat S. A., Ganenko S. A. Development of the methodology of electric thermal vacuum testing for temperature control of small spacecraft Jubelee-2 (MiR) 74
Dvirniy G. V., Eresko S. P. Experimental and theoretical ground-based testing of spacecraft antennas 78
Kraev M. V. Turbulent unsteadiness of «liquid – gas» surface of cavities of rotation of hydromachines rotors 80
Lavrenov V. A., Katsura A. V. Influence of thermal exposure and period of running on life cycle of an airframe 83
Lavrov V. I., Kuzovnikov A. V., Somov V. G. Procedure of analysis of radio engineering characteristics of one-reflector hybrid-mirror antenna with the offset reflector 86
Nadiradze A. B., Rachmatullin R. R., Kochura S. G., Maksimov I. A., Smirnov V. A. Features of experimental definition of composite materials durability against erosive impact of stationary plasma thrusters 91
Nigruca I. V., Grebennikov A. V., Kazantsev M. Yu. Aircraft landing system bases on pseudo satellites signals 96
Oleynik A. I. Method of expansion of a range of measurement of aerodynamic parameters of flight of a maneuvering plane 100
Khamitov R. N., Averyanov G. S., Perchun A. A. Operation modes of a double chamber pneumoshock absorber with increased damping 104
Sharshavin P. V., Kondratiev A. S., Grebennikov A. V. Application of digital recording for increase of measurement precision of GLONASS/GPS navigation satellite system signals pseudo range 109

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS

Bakin A. A., Oborina L. I., Trifanov I. V. Calculation of parameters of a two-mirror beam waveguide 114
Dobrosmislov S. S., Kirko V. I., Nagibin G. E., Rezinkina O. A., Popov Z. I. Features of physical-mechanical and high-temperature electric properties of ceramic semicinductor based on SnO_2 with MnO_2 and CuO additive agents 118
Kraev V. V., Krushenko G. G. Calculating and analytical method of choosing envelopes of metall for processing power-generating set components by stock removal 122
Nemtsev I. V., Shabanov A. V., Shabanova O. V. Electron microscopy investigation of polymethylmethacrylate spherical particles & artificial opals based on it 126
Podkopaev O. I., Shimansky A. F., Bychkov P. S., Vahrin V. V. The influence of optically active oxygen content on the defect structure of single crystal germanium 129
Ramenskaya E. V., Philippov Yu. A., Amelchenko N. A. Mechanism of generating and distribution of vibration in technological machines 132
Semyachkov V. A., Rybakova A. N., Zhigalov V. S., Myagkov V. G. Solidphase reactions in film two-layers structures of transion metals 138
Seryakov A. V., Konkin A. V., Belousov V. K. Application of steam jet nozzle in heat pipes of mean temperature range 142
Smirnov A. P., Iptyshev A. A., Vavilov D. V., Shigina A. V. Design of internal interaction of tooth gear with small difference in teeth number. Object-oriented approach 147
Chernyatina A. A., Kharlamov V. A., Ermolaev R. A., Parshin A. S., Alexandrova G. A. Experimental study of radiotransparent thermal control coating for application in sunshields antennas 153

PART 4. ECONOMICS

Avramchikova N. T., Frolova A. I. Role and importance of an integrated indicator «global municipal product» in carrying out monitoring of social and economic development of municipal units 160
Belyakova E. V., Parfenova S. L. Methodology of formation of strategy of development of machine-building industry in a region of raw material orientation 164
Voeykova O. B., Kuznetcov A. A. Problems of russian higher school integration in international market of scientific-innovative production and educational services 170
Erygin Yu. V., Zinina O. V. Forms and methods of integration-school of science in national innovation system: world and russian experience 175
Zelenskaya T. V., Portnova A. A. Problems of strategic planning: development and maintenance of realization of a long-term program of social and economic development of municipal unit in conditions of innovative scenario on the example of city of Krasnoyarsk 180
Kuznetsov A. A., Samokhvalova S. M. Conditions of realisation of university innovative development strategy 187
Levko V. A., Bahmareva N. V. Methods and tools of management of fixed capital of enterprises of space-rocket industry 190
Levko V. A., Sycheva E. M. Development of production program of dic enterprise: distinctive features, restrictions and criteria 196
Medvedev V. V. Power-space cluster as a base of innovative development of the territory 200
Podverbnykh O. E., Gasenko E. V. Mechanism of disposal of innovative potential of personnel at a high-tech enterprise 206
Podverbnyh O. E., Lyachin M. A. Loyalty of personnel as a base factor of innovative economy development 210
Popodko G. I. Analysis of conditions and factors of creation of Krasnoyarsk agglomeration 215
Semenkin E. S., Medvedev A. V. Economic-mathematical modeling of innovation development of economic systems 220
Tayurski A. I., Gilts N. E. Principles of monitoring of development of conversion production 223
Chaplina A. N. Actualization of problems of development of service sector management and conceptual base for their decision 227

SHORT MESSAGES. MATHEMATICS, MECHANICS, COMPUTER SCIENCE

Philippov K. A. About CAYLEY diameter of one subgroupe of the groupe $B_0(2,5)$ 234

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS 237

Приложение № 2
к Положению № 63/74 от 15.03.06
о журнале «Вестник СибГАУ»

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 (авторов); 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 библиографические ссылки).

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.

При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Примечания. 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.

Формулы. Простые внутристрочные 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 подрисуночную 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 и иллюстрации 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*

Рассмотрена децентрализованная обработка информации в двухканальных измерительных системах при косвенном измерении для различных алгоритмов фильтрации оценки вектора состояния в измерительных пунктах и пункте обработки информации. Проведен 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: