

ВЕСТНИК



ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО № 23 (95)
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА 2007

ISSN 1991-976X

СЕРИЯ

«КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА»

Выпуск 6

*ПОСВЯЩАЕТСЯ
50-ЛЕТИЮ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА И
45-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА*

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Редакционная коллегия:

д.т.н., профессор **Казаринов Л.С.** (*отв. редактор*); д.т.н., профессор **Войтович Н.И.**
д.т.н., профессор **Логиновский О.В.**; д.т.н., профессор **Шестаков А.Л.**;
д.т.н., профессор **Тележкин В.Ф.**; д.т.н., профессор **Карманов Ю.Т.**;
д.т.н., профессор **Щипицын А.Г.**; д.т.н., профессор **Лысов А.Н.**;
д.т.н., профессор **Кафтанников И.Л.**;
Фокин Л.А. (*техн. редактор*)

СОДЕРЖАНИЕ

ШЕСТАКОВ А.Л., КАЗАРИНОВ Л.С. К 50-летию приборостроительного факультета (компьютерных технологий, управления и радиоэлектроники) Южно-Уральского государственного университета.....	3
КАРМАНОВ Ю.Т. 25-летний опыт применения цифровых технологий обработки радиосигналов в НИИ цифровых систем ЮУрГУ.....	9

КАЗАРИНОВ Л.С., ЩИПИЦЫН А.Г. К 45-летию кафедры систем управления ЮУрГУ	17
ТЕЛЕЖКИН В.Ф. Существующая концепция подготовки специалистов высшей школы в области радиоэлектроники	23
ЛОГИНОВСКИЙ О.В., МАКСИМОВ А.А., КОЗЛОВ А.С., ЗИНКЕВИЧ А.С. Применение автоматизированных информационных систем в корпоративном управлении	26
СУХОВИЛОВ Б.М. Метод парных расстояний в задаче полетной юстировки астродатчиков системы ориентации космических аппаратов	35
КУВШИНОВ Б.М., КУЗНЕЦОВ А.Г., ШИРЯЕВ В.И. Оценка эффективности в задачах выбора, управления и оценивания состояния объектов, действующих в неоднородных условиях	42
КАЦАЙ Д.А., ЛЫСОВ А.Н., СЕРГЕЕВ Д.В. Система управления технологическим процессом в мобильной установке для поверхностной обработки асфальтовых дорог ...	50
АЛЕШИН Е.А. Алгоритм энергосберегающего управления тепловым режимом здания в условиях неопределенности.....	53
ДЕНИСЕНКО Ю.Н., ПАНФЕРОВ В.И. Исследование и разработка алгоритмов регулирования систем теплоснабжения.....	55
СТУКАЧ О.В. Решение задачи идентификации на основе дифференциального преобразования.....	60
БАРБАСОВА Т.А., ВАХРОМЕЕВ И.Е., ДИВНИЧ П.Н., ШНАЙДЕР Д.А. Построение расчетных характеристик пароструйного эжектора для оптимизации работы конденсационной установки ТЭЦ	63
ГОЙТИНА Е.В., ШНАЙДЕР Д.А. Автоматизированный анализ режимов тепловых сетей с использованием энергетических паспортов потребителей.....	65
ЩИПИЦЫН А.Г., ВАУЛИНА О.С. Синтез системы управления установкой утилизации углеводородсодержащих промышленных жидкостей на основе теоретических и экспериментальных исследований	67
ТОРОПОВ Е.Е., ЛЫМБИНА Л.Е. Теплоперенос через стенку в динамическом режиме: математическая модель и ее адаптация	71
ЖАБРЕЕВ В.С., АКУЛОВА Т.Н. Информационная модель оценки знаний и умений персонала по безопасности рабочих мест.....	75
ПОВИТУХИН С.А. Математическое моделирование процессов формирования заготовки в кристаллизаторе машины непрерывного литья	77
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	78

К 50-ЛЕТИЮ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА (КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ) ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

А.Л. Шестаков, Л.С. Казаринов

Приборостроительный (ПС) факультет своим созданием и становлением обязан бурному развитию энергетики, машиностроения, радиоэлектроники, автоматики и измерительной техники, начавшемуся в 50–60 гг. XX в.

Развитие приборостроения рассматривалось как важнейшее условие быстрого наращивания производственных сил страны, в особенности на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке. Это было время начала развития ракетно-космической техники, радио и телевидения, время первых спутников. Факультет с самого начала воспринимался как факультет новой техники, передний край научно-технического прогресса.

Начинался факультет так. В 1954 г. на первый курс энергетического факультета были приняты две группы будущего ПС-факультета. В 1956 г. там была создана кафедра автоматики и телемеханики (АиТ), возглавил кафедру Георгий Севирович Черноурецкий, впоследствии д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР. А 23 октября 1957 г. приказом ректора № 570 был образован ПС-факультет. Первым деканом факультета был назначен Лев Романович Сильченко, который проработал на этом посту до 1980 г. и руководил его становлением.

В 1959 г. была образована вторая кафедра факультета, кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры (КиПР), и начался бурный рост факультета. В 1960 г. образована кафедра информационно-измерительной техники (ИНИТ), в 1961 г. кафедра технологии приборостроения (ТПС), в 1962 г. кафедра гироскопических приборов и устройств (ГПиУ) и кафедра систем автоматического управления (САУ), в 1963 г. – кафедра радиотехнических систем (РТС), в 1970 г. – кафедра радиотехники, впоследствии переименованная в кафедру цифровых радиотехнических систем (ЦРТС). В 1973 г. создана кафедра прикладной математики (ПРИМА), перешедшая в 1995 г. на факультет прикладной математики и физики.

За 50 лет своего развития приборостроительный факультет стал одним из крупнейших факультетов Южно-Уральского государственного университета, подготовил более 16000 высококвалифицированных специалистов, среди которых 32 доктора и более 300 кандидатов наук. Факультет приобрел авторитет и известность в России и за ее пределами своими работами, высокой квалификацией преподавателей и научных сотрудников.

Созданная в 1963 г. научно-исследовательская лаборатория (НИЛ) «Электрон» объединила научно-исследовательскую работу радиотехнических кафедр факультета и быстро заняла ведущее место в стране среди организаций и ученых, работающих в области радиопеленгации. Возглавлял НИЛ «Электрон» заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д.т.н., профессор Виталий Васильевич Мельников, в то время ректор Челябинского политехнического института (ЧПИ). В 1981 г. коллектив сотрудников НИЛ «Электрон» во главе с Ю.Т. Кармановым, М.И. Шуняевым, В.М. Рукавишниковым был удостоен премии Совета Министров СССР 1-й степени за лучшую научную работу в области радиоэлектроники.

В последующие годы созданный на базе НИЛ «Электрон» научно-исследовательский институт цифровых радиотехнических систем (НИИЦС) под руководством д.т.н., проф. Ю.Т. Карманова продолжил и успешно развил работы этого направления. НИИЦС стал ведущим институтом России радиоэлектронного направления, его работы получили широкое признание и внедрены в серийно выпускаемую авиационную технику.

Вклад заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д.т.н., проф. Г.С. Черноурцкого в становление и развитие кафедры САУ и всего ПС факультета трудно переоценить. Им была создана научная школа в теории и практике систем автоматического управления, которая широко известна в России и за рубежом. Основные результаты многолетней работы легли в основу монографии «Следящие системы автоматических манипуляторов», вышедшей в издательстве «Наука» в 1987 г. Разработки, выполненные кафедрой под руководством д.т.н., проф. Г.С. Черноурцкого и д.т.н., проф. А.П. Сибрина в области полунатурного моделирования систем управления движением, соответствовали мировому уровню и были внедрены в большинстве крупных КБ, занимающихся разработкой ракетно-космической техники. Результаты исследований, огромный опыт по внедрению полунатурных систем легли в основу учебника по соответствующей специальной дисциплине.

Выпускники кафедры САУ в разное время были заведующими 9 кафедр на различных факультетах ЮУрГУ: приборостроительном (В.С. Жабреев, Л.С. Казаринов, А.П. Сибрин, В.Ф. Тележкин, А.Л. Шестаков), механико-математическом (В.А. Цыганков, В.И. Ширяев),

экономики и управления (Л.А. Баев, Б.М. Суховилов), энергетическом (Р.Х. Гафиятуллин), авто-тракторном (С.П. Гладышев).

Научная школа систем автоматического управления проф. Г.С. Черноруцкого получила успешное развитие трудами его многочисленных учеников.

Д.т.н., проф. Б.С. Яковлев разработал теорию взаимодействия динамических систем с источниками энергии ограниченной мощности. Развитие этого научного направления, превратившееся вскоре в свою научную школу, получило широкую известность в России. Результаты работы были внедрены в системах электроснабжения орбитальных станций «Салют» и «Мир».

Членом-корреспондентом международной академии информации, доцентом Ю.А. Усачевым разработаны на кафедре информационно-измерительной техники прецизионные оптико-электронные системы для наземных испытаний систем ориентации спутников. Им создан уникальный оптико-электронный комплекс «Корунд», прошедший аттестацию в ранге рабочего эталона 1-го разряда.

Д.т.н., проф. В.А. Цыганков развил теорию стохастических систем управления, результаты которой имели отражение в создании систем управления буровой техники. В 1973 г. им организована на ПС-факультете кафедра прикладной математики, впервые в институте объединившая высококвалифицированных математиков и специалистов по техническим наукам, в основном по системам управления. За время существования на ПС-факультете до 1995 г. кафедра готовила высококвалифицированных инженеров по специальности «прикладная математика», специалистов в области математики и программирования. Научная работа обеспечила защиты кандидатских и докторских диссертаций, среди которых следует отметить докторские диссертации доцентов Л.С. Казаринова, Б.В. Пельцвергера, В.И. Ширяева, В.Ф. Тележкина. Студенты кафедры являлись неоднократно победителями Всесоюзных и Всероссийских олимпиад по программированию.

Дальнейшее развитие школа систем управления на кафедре СУ (ранее САУ) получила в трудах д.т.н., проф. В.С. Жабреева, развившего теорию нелинейной фильтрации применительно к системам управления.

В настоящее время теория управления на кафедре СУ развивается в трудах д.т.н., проф. А.Г. Щипицына применительно к бесплатформенным инерциальным навигационным системам.

Направление гироскопических приборов и устройств интенсивно развивалось профессорами А.Г. Бургвицем, Г.А. Завьяловым, А.Н. Лысовым, А.Г. Щипицыным на кафедре Приборостроения (ранее ГПиУ). Заслугой кафедры является создание гироскопических устройств с использованием газовой смазки. По данной тематике доцентом (в настоящее время профессором) С.Г. Дадаевым была защищена докторская диссертация.

Один из ведущих специалистов России по теории распространения радиоволн и антеннам д.т.н., проф. Н.И. Войтович является выпускником факультета. Он работал долгое время в НИИИТ РК и вернулся на кафедру КиПР в 1995 г. В этом же году за разработку плоской антенны для спутникового телевидения проф. Н.И. Войтович награжден медалью всемирной выставки в Брюсселе.

В период перестройки работы, связанные с оборонной тематикой, существенно сократились. Факультет повернулся лицом к нуждам промышленности и жилищно-коммунального хозяйства.

Успешно развивается направление динамических измерений под руководством академика метрологической академии РФ, д.т.н., проф. А.Л. Шестакова, в котором идеи теории управления находят эффективное развитие и применение в области измерений.

Кафедра ЭВМ ведет успешные работы по внедрению и развитию компьютерной техники, современным методам обработки данных.

Заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах д.т.н., проф. О.В. Логиновский является ведущим ученым страны в области корпоративного управления. Под его руководством разработана отечественная ERP-система ферросплавным производством и успешно внедрена в ОАО «Кузнецкие ферросплавы». Опыт внедрения современных систем управления производством обобщен проф. О.В. Логиновским в серии монографий, раскрывающих проблему на всех уровнях: предприятия, региона, страны. По результатам проведенных работ защищены 3 докторские диссертации.

Большие успехи на приборостроительном факультете достигнуты в технике систем автоматизированного управления в энергетических и ресурсосберегающих технологиях. Основываясь на достигнутых результатах, в 2007 г. Южно-Уральский государственный университет выиграл грант и приступил к выполнению приоритетного национального проекта «Образование» по программе «Энерго- и ресурсосберегающие технологии» (научный руководитель д.т.н., проф. А.Л. Шестаков).

Приборостроительный факультет сыграл решающую роль в формировании данной программы. Непосредственно на факультете реализуется две подпрограммы:

- подпрограмма II «Кадровое и научное обеспечение развития и внедрения передовых технологий энергосбережения и управления энергопотреблением в металлургическом производстве» – научный руководитель д.т.н., проф. Л.С. Казаринов (кафедра автоматики и управления, кафедра электрических станций, сетей и систем);
- подпрограмма IV «Кадровое и научное обеспечения производства и внедрения интеллектуальных систем индивидуального учета энерго-ресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве» –

научный руководитель д.т.н., проф. А.Л. Шестаков (кафедра информационно-измерительной техники и технологий, кафедра цифровых радиотехнических систем, кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры), координацию работ осуществляет д.т.н., проф. Ю.Т. Карманов.

Победа университета в конкурсе национального проекта «Образование» по тематике энерго- и ресурсосбережения является признанием научных заслуг университета и с ним приборостроительного факультета в данной области исследований.

В последние годы направление исследований по энерго- и ресурсосбережению широко развивалось на приборостроительном факультете. Особо здесь следует отметить успехи достигнутые кафедрой автоматики и управления (научный руководитель д.т.н., проф. Л.С. Казаринов) и кафедрой информационно-измерительной техники (научный руководитель д.т.н., проф. А.Л. Шестаков).

На кафедре автоматики и управления в УНИ ЮУрГУ создан научно-технический центр «Инженерные сети и системы». Одним из достижений данного Центра является создание автоматизированной системы диспетчеризации и регулирования теплоснабжения зданий. Особенностью системы является то, что в ней используются современные сетевые технологии полевого уровня, которые позволяют достаточно дешево подключить к однопроводной линии связи сотни датчиков параметров теплоснабжения. Для данной системы разработан специализированный сетевой контроллер, позволяющий осуществлять управление теплоснабжением в составе автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов зданий (руководителем разработки является к.т.н., доцент кафедры АиУ Д.А. Шнайдер). Указанная автоматизированная система устанавливается в городе Челябинске, на площадке ОАО «ММК» и других местах.

Широко ведутся хозяйственные работы с базовым металлургическим предприятием Южного Урала ОАО «ММК». Здесь разрабатываются и внедряются автоматизированные системы мониторинга эффективности использования оборудования электрических станций, разработан и внедрен оригинальный подход к оценке текущего состояния оборудования и планированию ремонтно-профилактических работ по критериям минимума вероятности пропуска аварийных ситуаций и вероятности ложной тревоги. Разрабатываются программы анализа режимов систем теплоснабжения и повышения эффективности их функционирования. Разработана автоматизированная база данных энергетического оборудования потребителей.

На материалах проведенных работ под научным руководством д.т.н., проф. Л.С. Казаринова защищены 13 кандидатских диссертаций.

В рамках выполнения подпрограммы II программы Национального проекта поставлена задача создания специального Южно-Уральского учебно-научного центра «Энергосбережение в металлургии-

ческой промышленности» для проведения учебных, учебно-исследовательских, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию интегрированных систем контроля, планирования и управления потреблением энергетических ресурсов, а также развития передовых энергосберегающих технологий для металлургических предприятий Южно-Уральского региона.

В рамках этой задачи производится:

- разработка методического, аппаратурного и программного обеспечения комплексной системы контроля, планирования и управления потреблением топливных газов и электрической энергии с охватом всех основных технологических процессов, составляющих металлургическое производство в целом;

- разработка программного обеспечения комплексного сетевого моделирования энергетических потоков в технологических процессах, системно составляющих металлургическое производство;

- разработка программного обеспечения решения задач оптимизации параметров технологических процессов в металлургическом производстве по критериям энергетической эффективности с использованием современных методов интеллектуального анализа данных;

- разработка методического, аппаратурного и программного обеспечения решения задач мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса технологического оборудования по текущему состоянию на основе методов оптимального распознавания предаварийных ситуаций с минимизацией вероятностей «пропуска аварийной ситуации» и «ложной тревоги»;

- разработка методического и аппаратурного обеспечения для решения задач энергетического аудита и электромагнитной совместимости в электроэнергетических и электротехнологических системах.

Решение данных задач позволит создать на приборостроительном факультете научную школу по автоматизации управления энергетическими процессами в энергоемких отраслях промышленности – энергетике и металлургии.

Работы в данном направлении начались в ЮУрГУ с 90-х годов под руководством проф. Л.С. Казаринова, при его активном участии в научно-технических программах Челябинской области. Профессор Л.С. Казаринов является автором 3 региональных законов и 4 областных научно-технических программ. Под его научным руководством были разработаны и введены в действие следующие нормативно-правовые акты.

1. Закон Челябинской области «Об энергосбережении и повышении эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в Челябинской области» (1995 г.).

2. Закон Челябинской области «О локальных естественных монополиях» (1997 г.).

3. Постановление Законодательного собрания Челябинской области «О введении услуг энергосервиса населению и организациям бюджетной сферы» (1997 г.).

4. Программа развития и реконструкции топливно-энергетического комплекса Челябинской области до 2005 г. (1998 г.).

5. Программа энергосбережения Челябинской области до 2005 г. (1998 г.).

6. Программа энергосбережения г. Челябинска до 2005 г. (2000 г.).

7. Проект Основных направлений развития энергетики Челябинской области до 2015 г. (2007 г.) и др.

В результате выполнения национального проекта будет создана научно-техническая и нормативно-правовая база развития работ по энергоресурсосбережению Челябинской области.

Характерной особенностью данного проекта является его системный характер. Системность проекта заключается в том, что повышение энергетической эффективности металлургического производства и электроэнергетики является комплексной междисциплинарной проблемой, связывающей воедино специальные исследования в областях: металлургических технологий, энергетики, автоматизации, управления и экономики.

Реализация проекта позволит на основе новейших разработок и передового опыта ведущих металлургических предприятий организовать учебный процесс по дисциплинам, связанным с энергосбережением и управлением энергопотреблением на промышленных предприятиях, а также по дисциплинам автоматизации технологических процессов в металлургии и энергетике, управления себестоимостью продукции в интегрированных корпоративных системах.

Реализуемая подпрограмма является базовым звеном в проведении государственной политики энергосбережения на металлургических предприятиях Южно-Уральского региона. Экономический эффект от реализации проекта (по ОАО «ММК» до 300 млн м³ природного газа в год) окажет непосредственное влияние на себестоимость промышленной продукции Южно-Уральского региона и повысит ее конкурентоспособность. В настоящее время уже ведутся работы с ведущими металлургическими предприятиями Урала: ОАО «ММК», ОАО «Мечел», ОАО «Ашинский металлургический комбинат», ОАО «ЧЭМК», ОАО «Кузнецкие ферросплавы» и др.

Основными результатами предлагаемой подпрограммы будут:

- внедрение передового опыта, полученного учеными ЮУрГУ в работах с металлургическими предприятиями, а также электроэнергетикой Урала, в образовательные программы;
- организация на базе ЮУрГУ переподготовки специалистов металлургических предприятий и предприятий электроэнергетики Урала и РФ;

- развитие перспективных научно-технических направлений по энергосбережению, управлению энергопотреблением и созданию для металлургических предприятий и предприятий электроэнергетики соответствующего технического обеспечения энергосберегающих систем.

Масштаб влияния подпрограммы на развитие Российской Федерации определяется тем, что металлургические предприятия в настоящее время потребляют около 14 % топлива и 12 % всего объема вырабатываемой в России электроэнергии и являются наиболее энергоемкой отраслью промышленности.

В рамках подпрограммы IV для решения поставленных задач планируется создание Учебно-научного центра для проведения учебных, учебно-исследовательских, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области разработки и производства интеллектуальных систем индивидуального учета энергоресурсов.

В рамках Учебно-научного центра планируется проведение научных исследований по следующим направлениям:

- разработка технологии массового производства кварцевых термочувствительных датчиков на основе технологии управляемого выращивания кварцевых пластин с нужной кристаллической структурой;
- разработка технологии получения особо чистого кварцевого стекла из природного кварца;
- разработка и освоение технологии напыления тонких пленок с использованием мощных наносекундных электромагнитных импульсов;
- разработка микрочипа для измерения температуры на основе МЕМС технологии с беспроводной передачей энергии питания для микрочипа и беспроводной передачей цифровой информации с него;
- разработка технологии и организация массового производства однослойных и многослойных печатных плат;
- разработка антенн для обеспечения беспроводной передачи информации, исследование распространения радиоволн, излучаемых датчиком температур, внутри домов и квартир;
- создание перспективных образцов устройств цифровой обработки сигналов и передачи информации в интеллектуальных системах индивидуального учета энергоресурсов;
- разработка организации обмена данными в беспроводных сетях;
- разработка микроконтроллера комплексного учета энергоресурсов.

Также планируется:

- включение полученных результатов в курсы: «Микросенсоры в автономных системах управления», «Моделирование антенн и устройств СВЧ», «Интеллектуальные АСУ ТП», «Идентификация состояния датчиков и исполнительных эле-

ментов систем», «Нейросетевые технологии в идентификации состояния элементов систем и технологических процессов», «Информационно-измерительные системы», «Цифровые и микропроцессорные измерительные системы», «Датчики физических величин»;

- модернизация учебных планов по специальностям: «Физическая электроника», «Информационно-измерительная техника и технология», «Радиотехника», «Средства связи с подвижными объектами», «Комплексная защита объектов информатизации», «Автоматизированные системы обработки информации и управления», «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», и направлениям «Приборостроение», «Телекоммуникации»;

- модернизация читаемых курсов: «Моделирование антенн и устройств СВЧ», «Информационно-измерительные системы», «Цифровые и микропроцессорные измерительные системы», «Датчики физических величин», «Интеллектуальные АСУ ТП», «Микросенсоры в автономных системах управления»;

- разработка новых курсов: «Физические основы наноэлектроники», «Основы микросистемной техники и технологии», «Методы формирования наноструктур», «Моделирование наноструктур», «Получение монокристаллов и материалов для микроэлектроники», «Антенны интеллектуальных датчиков», «Технические средства охраны», «Инженерно-техническая защита информации», «Программно-аппаратная защита информации», «Технические средства защиты информации», «Защита информационных процессов в компьютерных системах», «Сетевые информационные технологии», «Цифровая обработка сигналов в интеллектуальных системах индивидуального учета энергоресурсов», «Цифровые системы передачи информации и связи», «Микропроцессорные устройства в интеллектуальных системах индивидуального учета энергоресурсов», «Автоматизация подготовки производства», «Микропроцессоры и интеллектуальные датчики»;

- внедрение в образовательный процесс гибкой модульной системы, в том числе с использованием элементов дистанционного обучения, создание междисциплинарных модулей «Принципы самодиагностики датчиков и исполнительных элементов», «Алгоритмы самодиагностики датчиков и исполнительных элементов», «Интерфейсы интеллектуальных АСУ ТП», «Архитектура систем Fieldbus», издание в электронном (мультимедийном) варианте методических материалов для каждого модуля (УМК);

- введение в учебный процесс научно-исследовательских работ по основным направлениям развития науки, техники и технологий, обеспечивающих принципы и навыки проведения научно-исследовательской работы в рамках дисциплин: «Физические основы наноэлектроники», «Ос-

новы микросистемной техники и технологии», «Методы формирования наноструктур», «Получение монокристаллов и материалов для микроэлектроники», «Комплексная защита и цифровая обработка информации в интеллектуальных системах», «Моделирование антенн и устройств СВЧ», «Микросенсоры в автономных системах управления»;

- создание электронного учебника «Архитектура интеллектуальных АСУ ТП» и электронных учебных пособий: «Моделирование наноструктур», «Характеристики малогабаритных антенн интеллектуальных датчиков», «Систем управления с распределенным интеллектом», «Методы самодиагностики состояния датчиков и исполнительных элементов», «Технические средства охраны», «Защита информационных процессов в компьютерных системах», «Сетевые информационные технологии», «Цифровая обработка сигналов в интеллектуальных системах индивидуального учета энергоресурсов», «Цифровые системы передачи информации и связи», «Схемотехника и программирование микроконтроллеров».

В рамках подпрограммы планируется создать современную лабораторную базу для проведения занятий со студентами и выполнения научно-исследовательских работ. Планируется:

- создание и оснащение автоматизированным оборудованием и программным обеспечением как для управления экспериментом, так и для использования университетской информационной инфраструктуры, учебных лабораторий по специальностям «Информационно-измерительная техника и технологии», «Автоматика и управление в технических системах», «Автоматизированные системы обработки информации и управления», направлению «Приборостроение» в рамках курсов: «Интеллектуальные датчики систем управления», «Архитектура АСУ ТП с распределенным интеллектом», «Самодиагностика датчиков и исполнительных элементов»;

- создание и оснащение автоматизированным оборудованием и программным обеспечением лабораторий для проведения учебных, учебно-исследовательских, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области создания и производства интеллектуальных систем индивидуального учета энергоресурсов: датчиков и микросенсоров; технологии изготовления кварцевых датчиков; технологии получения кварцевого стекла; контроля свойств и качества кварцевых материалов; технологии изготовления микрочипов и многослойных печатных плат; цифровых устройств передачи информации; обработки информации и управления; датчиков физических величин; самодиагностики датчиков и исполнительных элементов, АСУ ТП с распределенным интеллектом.

Масштабность результатов реализации образовательной подпрограммы определяется следующими ориентировочными цифрами: в России в настоящее время потенциальными объектами для

внедрения систем учета являются дома с общей площадью около 800 млн м² (28 % всего жилого фонда). В этих домах проживает 38,5 млн чел. Переход на индивидуальные системы учета экономит до 32 % холодной воды и 23 % горячей. После внедрения экономия воды составит около 1,2 млрд м³ или 10,6 млрд руб. Экономия тепловой энергии на подогрев воды и отопление составит около 45 млн Гкал, или 14,3 млрд руб. При ежегодном строительстве 50 млн м² нового жилья и установкой в нём систем учета годовая экономия воды составит 75 млн м³, или 660 млн руб., а экономия тепловой энергии 2,8 млн Гкал, или 891 млн руб.

Системность подпрограммы заключается во взаимосвязи дисциплин, лежащих в основе микроэлектронной и микросистемной техники, базирующейся на сочетании фундаментальных и прикладных дисциплин, а также инновационных технологий в комплексном учете всех энергетических параметров.

Реализация образовательной подпрограммы позволит на основе новейших разработок организовать учебный процесс на факультете в области интеллектуальных систем индивидуального учета энергоресурсов и других интеллектуальных измерительных и управляющих систем на мировом уровне.

25-ЛЕТНИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ В НИИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ЮУрГУ

Ю.Т. Карманов

В период 1963–1975 гг. в Челябинском политехническом институте (ныне ЮУрГУ) под руководством доктора технических наук, профессора, ректора института Виталия Васильевича Мельникова при активном участии заведующего кафедрой РТС к.т.н., доцента В.А. Лосева, заведующего кафедрой КИПР к.т.н., доцента В.П. Серегина, начальника научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) «Электрон» В.П. Быстрова сформировался научный коллектив молодых ученых и радиоинженеров.

Основу научного коллектива составили молодые ученые и инженеры В.А. Макровец, В.Ф. Ненахов, Ю.П. Щербак, Н.Л. Телякова, В.Н. Степаненко, В.К. Баранов, В.М. Коровин, В.В. Милованов, Ю.Т. Карманов, М.И. Шуняев, В.М. Рукавишников, А.А. Корняков, В.В. Родионов, Б.В. Пермяков, В.Н. Мельников и др. Научное руководство осуществлял В.В. Мельников, оперативное руководство В.А. Лосев, В.П. Серегин, материально-техническую и оформительскую поддержку работ осуществлял В.П. Быстров с супругой Г.М. Быстровой.

1. История применения цифровых технологий обработки радиосигналов в НИИ цифровых систем ЮУрГУ

Научный коллектив вел интенсивные исследования в области разработки перспективных средств радиотехнической разведки (РТР), радиоэлектронного подавления (РЭП), радиолокации и радионавигации. Велись разработки образцов радиоаппаратуры, проводились натурные испытания на полигонах заказчика, подготавливались и защищались диссертации.

В 1976–1978 гг. одним из направлений исследований в НИЛ «Электрон» становится разработка цифровых технологий обработки радиосигналов для средств РЭП и РТР. Появился заказчик – Научно-исследовательский институт автоматических систем (НИИ АС) Министерства авиационной промышленности в лице молодого доктора технических наук начальника НИЛ О.Е. Антонова, что способствовало развитию данного направления исследований. Для проведения работ в области цифровых технологий обработки радиосигналов была сформирована группа ученых и инженеров в составе Ю.Т. Карманова, М.И. Шуняева, В.М. Рукавишникова, В.А. Хабина, В.Н. Мельникова, которая с большим энтузиазмом начала работать по новой тематике.

Проблема, которую предстояло решить коллективу на этом этапе, заключается в следующем. Типовая организация радиоэлектронного подавле-

ния радиоэлектронных средств (РЭС) состоит из нескольких этапов:

- на первом этапе средство РТР осуществляет прием радиосигналов подавляемой РЭС и осуществляет измерение их несущей частоты, длительности, периода повторения импульсов и т.п.;
- на втором этапе в средстве РЭП управляемый генератор высокочастотных радиосигналов настраивается на измеренную несущую частоту радиосигналов подавляемой РЭС;
- на третьем этапе радиосигнал управляемого генератора средства РЭП модулируется по амплитуде, частоте и фазе помеховыми колебаниями, усиливается передатчиком помех и излучается в направлении подавляемой РЭС.

Так как подавляемые РЭС работают на сверхвысоких частотах (десятки тысяч мегагерц), имеют малую длительность радиоимпульсов (доли микросекунд), то в процессе измерения их несущих частот и наведения управляемого генератора на измеренную частоту возникают большие ошибки (до нескольких десятков мегагерц). Для их компенсации средства РЭП вынуждено резко (в разы) расширять ширину спектра излучаемых помех. Из-за этого только очень малая доля энергии излучаемых помех (несколько процентов) проникает в приемник РЭС и создает помехи средству РЭС.

Вследствие этого эффективность таких средств РЭП не высока, что и поставило на повестку дня задачу поиска путей ее повышения.

Наш коллектив, проанализировав с помощью заказчиков состояние вопроса, предложил для решения проблемы повышения эффективности средств РЭП другую организацию радиоэлектронного подавления РЭС. Было предложено вместо измерения несущей частоты, длительности и т.д. радиосигналов подавляемой РЭС осуществлять запоминание («фотографирование») временной структуры радиосигналов РЭС и на этой основе по специальным алгоритмам формировать помеховое колебание. При реализации такого подхода практически исключаются ошибки наведения помехи по частоте и ширине спектра, так как помеховое колебание формируется из самих радиосигналов и это гарантирует совпадение их частот и ширины спектров.

Вместе с тем реализация такого подхода была сопряжена с большими техническими трудностями из-за невозможности с помощью аналоговой техники запоминать сверхвысокочастотные радиосигнала (десятки тысяч мегагерц) на необходимое время

(несколько десятков микросекунд) с необходимой точностью. Реализовать такой подход можно было только с помощью цифровой техники. Но для этого требовалась цифровая техника с тактовыми частотами в несколько сотен мегагерц, с объемами ОЗУ в сотни килобайт. В 1975–1980 гг. такой техники в СССР не было. Вместе с тем к 1980 г. благодаря умелому сочетанию существующей аналоговой техники с появляющейся цифровой техникой коллективом разработчиков НИЛ «Электрон» были созданы цифровые устройства запоминания и воспроизведения СВЧ-радиосигналов способные запоминать СВЧ-радиосигналы длительностью до 10 мкс в полосе до 50 МГц (рис. 1). Это был большой успех коллектива, так как наличие таких цифровых устройств запоминания и воспроизведения СВЧ-радиосигналов позволяло создать эффективные средства РЭП принципиально нового «цифрового» типа.

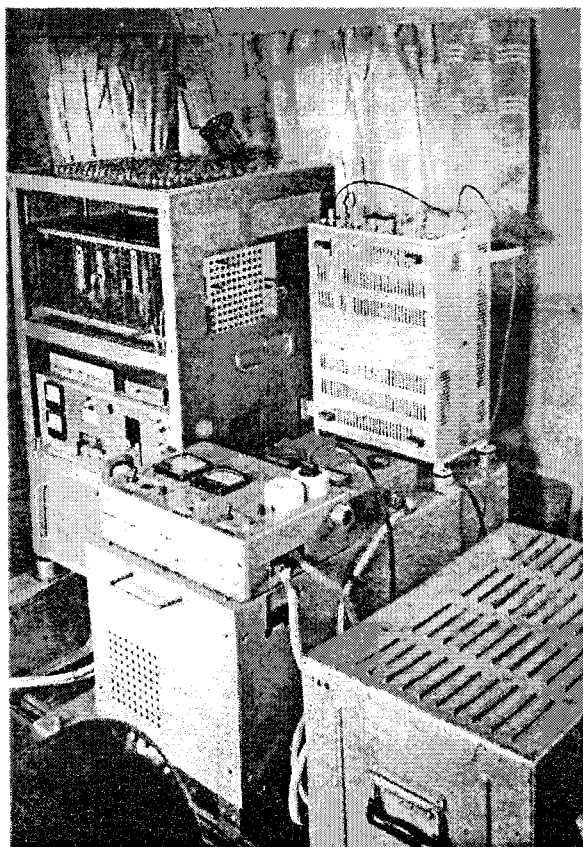


Рис. 1. Первый макет, 1981 г.

В восьмидесятые годы наш коллектив был первым и единственным в СССР коллективом, которому удалось создать цифровые устройства запоминания и воспроизведения радиосигналов, что подтверждено приоритетами соответствующих заявок на изобретения. В США такие устройства появились на один год ранее. Большая заслуга в создании цифровых устройств запоминания и воспроизведения радиосигналов принадлежит ученым и инженерам М.И. Шуняеву, В.М. Рукавишникову, В.А. Хабину, В.Н. Мельникову. Особенно хочется

отметить ведущую роль в создании таких устройств Михаила Ивановича Шуняева, инженера «от бога». Без его идей, филигранного умения создавать уникальные радиоэлектронные схемы, сочетающие аналоговую и цифровую технику, было бы невозможно достичь успеха при состоянии цифровой техники в СССР 1975–1980 гг.

Для демонстрации возможностей новой идеологии построения РТС на базе цифровой обработки радиосигналов группой был разработан и изготовлен ряд действующих макетов. Успешная демонстрация их работы привлекла внимание потенциальных заказчиков от ВВС и Миновиапрома.

К 1981 г., благодаря поддержке Командования ВВС, руководства НИИ АС и личного участия начальника управления ВВС генерал-майора Н.Ф. Николенко, полковника Е.М. Яковлева, начальника лаборатории НИИ АС д.т.н., профессора О.Е. Антонова, группа разработала и изготовила летные макеты цифровых РТС, установила их на летающей лаборатории на базе самолета ТУ-134Ш и в период с 1982 г. по 1983 г. провела успешные летные испытания на полигонах ВВС.

В организации летных испытаний большое содействие было оказано со стороны командования авиацией Уральского военного округа, начальника и офицеров Челябинского высшего военного авиационного училища штурманов при активном участии заведующего кафедрой училища д.т.н., профессора В.И. Ширяева, полковника М.И. Хаютина и др.

Успешные летные испытания макетов произвели большое впечатление на заказчиков и научно-исследовательские организации Минрадиопрома, занимающиеся разработкой аналогичных средств.

Поэтому Генштаб при поддержке ВВС и ВМФ, Миновиапрома, Минрадиопрома и Минвуза СССР обратился к руководству страны с предложением о создании в ЧПИ на базе НИЛ «Электрон» проблемной НИЛ «Протон» и поручении ей выполнения трех ОКР по созданию цифровых РТС нового поколения на основе полученных и успешно продемонстрированных результатов. Благодаря личному участию ректора ЧГТУ д.т.н., профессора Г.П. Вяткина, заместителя министра высшего образования, академика РАН И.М. Макарова, начальника управления Генштаба генерал-майора М.Г. Воронина, начальника управления ВВС генерал-майора Н.Ф. Николенко, полковника Е.М. Яковлева, полковника В.Н. Субботина, заведующего отделом Минвуза А.А. Малюка, инспектора Е.И. Лапина это предложение руководством страны было принято.

С этого момента начался новый этап развития коллектива лаборатории. Под руководством научного руководителя ПНИЛ «Протон» Ю.Т. Карманова (рис. 2) в сжатые сроки была проведена переориентация коллектива с выполнения вузовских НИР на задачи опытно-конструкторской разработки образцов цифровых РТС. Это потребо-

вало, наряду с созданием конструкторских подразделений, освоения ведущими научными работниками и инженерами приемов и технологии проведения ОКР, изучения ГОСТов, ОСТов, нормалей, инструкций и других нормативных документов. Решение этих задач позволило коллективу ПНИЛ «Протон» в 1985–1986 гг. успешно завершить технические проекты трех порученных ОКР и успешно испытать созданные макеты. Два из них испытывались на самолетах ТУ-134Ш и АН-12, а третий на борту СКР «Бдительный» Балтийского флота, где до сих пор успешно работает.

Успех разработок и испытаний в большой степени был обусловлен широкой поддержкой коллектива со стороны представительств заказчиков ВВС и ВМФ и ведущих организаций Минрадиопрома: НИИ автоматических приборов (г. Новосибирск), НИИ по измерительной технике (г. Челябинск), НИИ «Экран» (г. Самара), Таганрогского НИИ связи. Офицеры представительств заказчика и сотрудники предприятий оказали коллективу ПНИЛ «Протон» большое содействие в приобретении навыков ведения полномасштабных ОКР. Среди них главный конструктор В.П. Державин, заместитель главного конструктора Ю.Н. Квитко, полковники Ю.Н. Широков, Е.В. Озеров, А.А. Кузнецов.

Однако, первый этап ОКР показал, что материальная и испытательная база ПНИЛ явно недостаточна для успешного проведения всего цикла работ от идеи до передачи аппаратуры в серийное производство. В связи с этим в 1986 г. руководство Минобороны, Минвуза, Минавиапрома и Минрадиопрома СССР для ускорения внедрения новой идеологии построения цифровых РЭС обратились к руководству страны с предложением создать на базе ПНИЛ «Протон» ЧПИ научно-исследовательский институт с выделением ему финансовых и материальных ресурсов для развития научной, испытательной и производственной базы. Благодаря личной поддержке со стороны заместителя министра обороны генерала армии В.М. Шабанова, ректора ЧГТУ Г.П. Вяткина, начальника управления Минрадиопрома А.Н. Шулунова, заведующего отделом Минвуза В.П. Попко, инспектора Е.И. Лапина это предложение было поддержано, и 16 июня 1987 г. распоряжением Совмина СССР было предписано создать на базе ПНИЛ «Протон» ЧПИ Научно-исследовательский институт цифровых систем (НИИЦС) при Челябинском политехническом институте. Директором института был назначен к.т.н., доцент Ю.Т. Карманов.

В течение трех лет коллектив НИИЦС сумел использовать предоставленные решением Правительства возможности, и к 1990 г. институт сформировался как полномасштабное научно-исследовательское учреждение с развитой материальной, испытательной, научной и конструкторской базой, способное вести научно-исследовательские и опыт-

но-конструкторские работы в области радиоэлектроники от идеи до внедрения.

В 1989 г. был введен в эксплуатацию новый отдельный корпус НИИЦС площадью 5000 м², оснащенный современными средствами измерений, вычислительной техникой, автоматизированными рабочими местами конструкторов и разработчиков, станками и другой техникой. Одновременно в институте были созданы новые научно-исследовательские, конструкторские и испытательные подразделения, укомплектованные высококвалифицированными кадрами – в основном выпускниками радиотехнических кафедр приборостроительного факультета ЧГТУ. Для оперативного проведения летных испытаний разрабатываемой аппаратуры решением Минвуза и Минобороны был открыт Челябинский межведомственный научно-испытательный центр на базе НИИЦС, Челябинского ВВАУШ, авиационного полигона «Сафакулево» УрВО, 4-й армии ПВО, в рамках которого была создана испытательная база института. В нее вошли три летающие лаборатории на базе самолета ТУ-134Ш и вертолета МИ-8МТ, радиополигон на базе авиационного полигона «Сафакулево», научно-испытательная лаборатория на территории Челябинского ВВАУШ.



Рис. 2. Директор института, к.т.н., доцент Ю.Т. Карманов

В результате коллектив института в сжатые сроки успешно завершил опытно-конструкторские работы с изготовлением образцов цифровых РЭС, проведением государственных наземных и летных испытаний и в 1991 г. совместно с НИИ «Экран» внедрил цифровую РЭС в серийное производство. В этом большая заслуга сотрудников института и особенно заместителей директора В.С. Спицына, В.М. Рукавишникова, М.И. Шуняева (рис. 3), начальников отделов и НИЛ В.А. Хабина, В.И. Рыжова, В.А. Миронова, В.К. Баранова.

В настоящее время НИИЦС является научно-исследовательским подразделением ЮУрГУ, ведущим научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию цифровых радиотехнических систем и устройств. Сейчас коллектив института насчитывает около 70 со-

трудников, в том числе один доктор технических наук, 4 кандидата технических наук, 10 научных сотрудников, 25 инженеров. К выполнению работ привлекаются преподаватели и сотрудники кафедры «Цифровые радиотехнические системы».

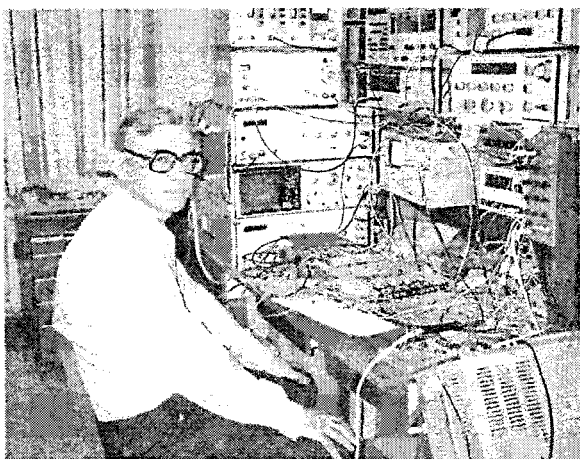


Рис. 3. Главный конструктор ОКР «Метеор-НМ2-Ч» к.т.н. М.И. Шуняев

В свою очередь ведущие сотрудники НИИЦС (рис. 4) читают лекции, ведут учебные занятия со студентами кафедры «Цифровые радиотехнические системы». Студенты привлекаются к выполнению НИОКР в НИИЦС, что создает хорошие условия для подготовки кадрового резерва.



Рис. 4. Сотрудники НИИЦС

Сегодня цифровые технологии обработки радиосигналов бурно развиваются во всем мире и широко используются не только в радиотехнических системах специального назначения, но и в радиоаппаратуре широкого применения (сотовая связь, телевидение, видео- и аудиосистемы и т.п.).

За прошедшие годы цифровая техника достигла громадных успехов, разработаны и сегодня широко применяются многоразрядные (до 32) сигнальные процессоры, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), микроконтроллеры, АЦП, ЦАП с тактовой частотой до 600 МГц, объемами ОЗУ в несколько мегабит. На их базе созданы цифровые устройства запоминания и воспроизведения радиосигналов, позволяющие запо-

минать СВЧ-радиосигналы в полосе до 500 МГц, с временем запоминания в несколько сотен миллисекунд. Устройства выполнены в виде специализированных чипов. Разработанная в восьмидесятых годах коллективом НИИЦС цифровая технология обработки радиосигналов повсеместно используется разработчиками РТС, как надежный инструмент повышения их эффективности.

2. Проблемы и перспективы применения цифровых технологий обработки радиосигналов в разработках средств РТР, РЭП, РЛС, РНС и радиосвязи

Несмотря на большие успехи по развитию и применению цифровых технологий обработки радиосигналов существует ряд проблем их использования при разработке РТС.

В частности есть такие проблемы и при разработке современных и перспективных устройств запоминания и воспроизведения радиосигналов (ЦУЗВР). В настоящем разделе анализируются некоторые из них и обсуждаются пути их решения.

За 25 лет технические возможности цифровых устройств запоминания и воспроизведения радиосигналов (ЦУЗВР) резко расширились. Первые ЦУЗВР имели рабочую полосу в несколько мегагерц, могли запоминать радиосигналы длительностью в несколько микросекунд, имели значительную массу и габариты. К настоящему времени промышленностью освоено производство специализированных БИС, позволяющих запоминать и воспроизводить радиосигналы в полосе частот в несколько сотен мегагерц, с длительностями в десятки миллисекунд.

Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигнала позволяет получить его подробный цифровой портрет, запомнить его и многократно воспроизводить, наделяя при необходимости дополнительными модуляциями [1, 4, 6, 13, 16, 17].

Вместе с тем опыт применения ЦУЗВР выявил ряд проблем, которые сдерживают развитие техники цифрового запоминания и воспроизведения радиосигналов.

2.1. Проблемы запоминания и воспроизведения узкополосных радиосигналов при изменениях их несущей частоты и амплитуды в широких диапазонах

Как правило, несущая частота запоминаемых радиосигналов априорно неизвестна, известен лишь диапазон частот [13]. Поэтому за прошедшие 25 лет с момента появления ЦУЗВР основные усилия разработчиков были направлены на увеличение рабочего диапазона частот ЦУЗВР [13, 17, 18].

Рабочий диапазон частот ЦУЗВР определяется частотой дискретизации радиосигнала по времени [10, 13]. Эта зависимость описывается выражением

$$\Delta F_p \leq F_q, \quad (1)$$

где ΔF_p – рабочий диапазон ЦУЗВ; F_q – частота дискретизации запоминаемого радиосигнала по времени.

В связи с этим единственным способом расширения рабочего диапазона частот ЦУЗВР является увеличение частоты дискретизации радиосигналов по времени. На сегодняшний день развитие микроэлектроники позволило реализовать ЦУЗВР с частотой дискретизации $F_q = 600$ МГц, на подходе устройства, реализующие $F_q = 3000$ МГц [13, 18].

Для подавляющего числа практических приложений диапазон несущих частот запоминаемых радиосигналов $\Delta F_p \leq F_q = 600\text{--}3000$ МГц более чем достаточен [14].

Вместе с тем качество запоминания и воспроизведения радиосигналов в ЦУЗВР, характеризуемое уровнем паразитных составляющих в спектре воспроизводимого ЦУЗВР радиосигнала, определяется числом и распределением уровней квантования мгновенных значений радиосигнала в процессе преобразования его в цифровые слова и обратного восстановления из цифровых слов радиосигнала [13, 17].

Мощность запоминаемых радиосигналов также априорно неизвестна и изменяется в динамическом диапазоне порядка 60–70 дБ [4, 7, 13].

В этих условиях возникает проблема преобразования запоминаемых радиосигналов в цифровые слова и их последующего запоминания, обратного преобразования и воспроизведения радиосигналов.

Действительно, согласно [10, 12] при фиксированной амплитуде запоминаемого радиосигнала для достижения уровня паразитных составляющих в спектре воспроизводимого радиосигнала не более минус 30 дБ необходимо преобразовать мгновенное значение его квадратур в два слова длиной не менее 4 разряда каждое. Общая длина запоминаемого в ЦУЗВР цифрового слова должна быть не менее 8 разрядов, а объем ЗУ ЦУЗВР должен составлять не менее $8\Delta F_p \tau_c$ бит, где τ_c – длительность радиосигнала.

Если амплитуда запоминаемого радиосигнала изменяется в диапазоне 60 дБ (10^3 раз), то для достижения одинаковой дискретности квантования квадратур при любой амплитуде радиосигнала необходимо увеличить длину запоминаемого слова до 18–20 разрядов, а объем ЗУ ЦУЗВР должен составлять $(18\text{--}20)\Delta F_p \tau_c$ бит.

Реализация АЦП, ЦАП, ЗУ в ЦУЗВР в этом случае является сложной задачей, требующей значительного увеличения габаритов, энергопотребления и соблюдения жестких требований к стабильности характеристик ЦУЗВР.

Предложено и разработано несколько способов решения этой проблемы [4, 10, 12, 16, 17, 18].

Первый способ заключается в сжатии динамического диапазона запоминаемых радиосигна-

лов, путем предварительного ограничения (жесткого или мягкого) амплитуды запоминаемого радиосигнала с соответствующей коррекцией амплитуды, воспроизведенного радиосигнала.

Таким способом, можно достичь значительно сокращения длины цифровых слов и требуемого объема ЗУ ЦУЗВР, при запоминании и воспроизведении одиночного узкополосного радиосигнала.

Действительно, применяя мягкое ограничение запоминаемого радиосигнала с помощью усилителя с логарифмической характеристикой, можно сжать динамический диапазон радиосигнала приблизительно в 100 раз и соответственно уменьшить длину цифрового слова до 12 разрядов.

При этом мягкое ограничение радиосигнала породит дополнительные паразитные составляющие спектра воспроизводимого радиосигнала на гармониках несущей частоты. Однако, при одиночном радиосигнале они как правило не попадают в диапазон рабочих частот ЦУЗВР и их устранение обычно не вызывает трудностей.

Жесткое ограничение позволяет уменьшить длину цифровых слов до 8–10 разрядов.

Серьезные трудности возникают при широких диапазонах изменения несущих частот радиосигналов $\sim 100\text{--}250$ МГц, когда в рабочую полосу ЦУЗВР попадает сразу несколько радиосигналов на разных частотах. В этом случае ограничение радиосигналов порождает дополнительные паразитные составляющие в спектре воспроизводимого сигнала, уровни которых могут быть значительными. К сожалению, исследование уровней паразитных составляющих для этого случая, по видимому, не проводилось.

Кроме этого из-за ограничения суммы радиосигналов, амплитуда каждого из которых априорно известна, трудно в воспроизводимых радиосигналах управлять соотношением их амплитуд.

Во втором способе сжатие динамического диапазона достигается применением автоматической регулировки усиления на входе ЦУЗВР (АРУ, БАРУ, МАРУ).

Для одиночных радиосигналов таким способом можно добиться существенного сокращения длины цифровых слов и объема ЗУ, так как за длительность пачки одиночных радиосигналов их амплитуда меняется слабо. При запоминании суммы нескольких радиосигналов на разных частотах, что характерно при широком рабочем частотном диапазоне ЦУЗВР, возникают быстрые изменения амплитуды суммарного радиосигнала порядка 60–70 дБ из-за биений радиосигналов. В этом случае АРУ не может отследить эти изменения и достичь уменьшения длины цифровых слов в ЦУЗВР не удастся.

Третий способ основан на раздельном преобразовании амплитуды и текущей фазы узкополосных запоминаемых радиосигналов относительно опорного колебания [13].

Так как амплитуда даже суммы нескольких радиосигналов меняется много медленнее, чем текущая фаза, обусловлена биениями радиосигнала с опорным колебанием, то дискретизировать их по времени можно с разными тактовыми частотами, что приведет к уменьшению объема ЗУ ЦУЗВР. Кроме того, число уровней квантования по амплитуде можно сделать меньше, чем по текущей фазе [13, 17], что даст дополнительное уменьшение объема ЗУ ЦУЗВР.

Данный способ потенциально может дать уменьшение объема ЗУ ЦУЗВР, как при одиночных радиосигналах, так и при запоминании суммы радиосигналов при широкой рабочей полосе частот ЦУЗВР.

Однако его потенциальные возможности при запоминании суммы радиосигналов плохо исследованы.

2.2. Проблемы запоминания и воспроизведения широкополосных радиосигналов при изменениях несущей частоты и амплитуды в широких диапазонах

В практике применения ЦУЗВР встречаются радиосигналы, ширина полосы спектра частот которых сопоставима с рабочей полосой частот ЦУЗВР.

В отличие от рассматриваемых ранее узкополосных радиосигналов, запоминание и воспроизведение широкополосных радиосигналов имеет свои особенности.

Во-первых, при запоминании широкополосных радиосигналов их несущая частота не известна и меняется в широком диапазоне – ΔF_n . Поэтому рабочая полоса частот ЦУЗВР должна быть увеличена на ширину спектра частот ΔF_c радиосигнала и составит $\Delta F_p = \Delta F_c + \Delta F_n$.

В противном случае будут искажения спектра запоминаемого радиосигнала при приближении значения несущей частоты радиосигнала к границам диапазона ΔF_n . При узкополосных радиосигналах $\Delta F_c \ll \Delta F_n$ и $\Delta F_p \approx \Delta F_n$.

Вследствие этого в ЦУЗВР должна применяться повышенная частота дискретизации $F_q \geq \Delta F_n + \Delta F_c$, что ведет к увеличению объема ЗУ ЦУЗВР. Такое увеличение может быть очень большим для радиосигналов занимающих большую полосу частот и состоящих из набора синхронных узкополосных радиосигналов на разных несущих частотах. Например, при $\Delta F_c = \Delta F_n$ объем ЗУ увеличивается в 2 раза.

Во-вторых, мгновенная мощность радиосигнала неизвестна и может изменяться в широком динамическом диапазоне. Применение ограничения запоминаемого радиосигнала в этом случае может привести к искажениям спектра. Поэтому потребуется значительно увеличить длину запоминаемых цифровых слов.

В-третьих, зависимость уровней паразитной и основной составляющих спектра воспроизведенного радиосигнала от числа и расположения уровней квантования в АЦП и ЦАП будет носить более сложный характер, чем в случае узкополосных радиосигналов, что также потребует увеличения длины цифровых слов. Исследования для этого случая не проводились.

Рассмотренные особенности запоминания и воспроизведения широкополосных радиосигналов могут создать серьезные трудности при реализации ЦУЗВР. Эти трудности обусловлены необходимостью использования больших частот дискретизации (≥ 1000 МГц) и оперативных ЗУ большого объема.

В целом проблема запоминания широкополосных радиосигналов плохо изучена и ждет своих исследователей. Особенно это касается проблемы запоминания и воспроизведения радиосигналов не синусоидальной формы, в виде последовательности сверхкоротких видеоимпульсов $\tau_u \approx 10^{-10}$ с [15].

2.3. Проблема многократного и частого воспроизведения радиосигналов

Типовая технология воспроизведения запоминаемого радиосигнала заключается [10, 13]:

- в считывании из ЗУ цифровых слов, соответствующих временным отсчетам запомненного радиосигнала;
- в преобразовании их в соответствии с заданными законами амплитудной и фазовой модуляции;
- в получении аналоговых сигналов в виде квадратур воспроизводимого радиосигнала путем цифроаналогового преобразования цифровых слов;
- в получении воспроизводимого радиосигнала путем квадратурной модуляции колебания опорного генератора.

Первая проблема, возникающая при многократном воспроизведении радиосигнала, обусловлена необходимостью хранить запомненную копию в течение некоторого времени и многократно воспроизводить из нее радиосигнал.

Типовая технология запоминания и воспроизведения радиосигналов предполагает их демодуляцию относительно колебания опорного генератора при преобразовании в цифровые слова и последующую модуляцию колебания опорного генератора при их воспроизведении.

Но для реальных опорных генераторов характерны не контролируемые изменения их частоты и паразитная фазовая модуляция генерируемых колебаний.

Вследствие этого воспроизведение радиосигнала происходит относительно колебания опорного генератора, несущая частота и частотная структура которого отличаются от несущей частоты и структуры колебания, используемого при запоминании радиосигнала. Это отличие тем больше, чем

больше время, прошедшее между запоминанием и воспроизведением радиосигнала.

Из-за этого структура воспроизводимого радиосигнала отличается от структуры запоминаемого радиосигнала и это отличие тем больше, чем больше время между запоминанием и воспроизведением радиосигнала.

Данная проблема плохо изучена. В литературе рассмотрен лишь случай паразитной частотной модуляции колебания опорного генератора пульсациями источника питания.

Показано, что в этом случае допустимое время между запоминанием и воспроизведением радиосигнала ограничено и не должно превышать 25 % периода пульсаций источника питания.

Решение данной проблемы лежит на пути улучшения характеристик опорных генераторов.

Вторая проблема связана с необходимостью введения в цифровой виде в воспроизводимый радиосигнал дополнительных модуляций по частоте, фазе и амплитуде [4, 13, 15]. В частности необходимо изменять несущую частоту воспроизводимого радиосигнала относительно несущей частоты запоминаемого радиосигнала [13, 16].

Дополнительные модуляции приводят к уменьшению уровня полезной составляющей и увеличению уровня паразитных составляющих в спектре воспроизводимого радиосигнала [10, 16]. Это вызывает необходимость поиска способов нейтрализации такого эффекта.

Проблема достаточно полно изучена для случая сдвига несущей частоты воспроизводимого непрерывного и квазинепрерывного радиосигнала на несколько десятков килогерц относительно несущей частоты запоминаемого радиосигнала [10, 13, 16]. Показано, что в этом случае уровень полезной составляющей в спектре воспроизводимого радиосигнала уменьшается в два раза в децибелах [10]. При этом появляются дополнительные паразитные составляющие в спектре радиосигнала, положение и уровни которых зависят от величины сдвига частоты, от числа и расположения уровней квантования значений радиосигнала и от частоты дискретизации по времени [10].

Для этого случая предложен и исследован способ частичной нейтрализации этого эффекта путем введения в процесс преобразования радиосигнала в цифровую форму случайных факторов в виде добавления к цифровой копии радиосигнала и цифровой копии законов модуляции случайных возмущений [10, 13]. Показано, что в некоторых случаях это приводит к уменьшению уровня паразитных составляющих в спектре воспроизводимого радиосигнала на 20–30 дБ [10].

Вместе с тем возможность распространения данных результатов на случай широкополосных радиосигналов, на сумму нескольких радиосигналов, на случай сдвига несущей на большие величины не очевидна.

Требуется проведение дальнейших исследований.

Третья проблема связана с практической необходимостью частого многократного воспроизведения ЦУЗВР радиосигналов.

Она возникает в случае, когда временной интервал между отдельными воспроизводимыми радиосигналами меньше чем их длительность τ_c .

В этом случае необходимо организовывать ЦУЗВР так, чтобы существовала возможность одновременного считывания из ОЗУ нескольких цифровых копий, параллельного ввода в них дополнительных модуляций и воспроизведения каждого из них. Обычно требуемый интервал между воспроизводимыми радиосигналами колеблется от 0,1 мкс до 10 мкс.

Поэтому при малых длительностях радиосигналов порядка нескольких микросекунд общее число одновременно воспроизводимых радиосигналов не велико и это не вызывает серьезных трудностей при разработке ЦУЗВР.

Однако при запоминании и воспроизведении длинно-импульсных радиосигналов с внутрисигнальной модуляцией (ЛЧМ, ФКМ-сигналы), длительность которых составляет несколько сотен микросекунд [7], необходимо одновременно воспроизводить несколько сотен радиосигналов. Это создает большие проблемы при реализации ЦУЗВР, так как даже на современной технологической базе они имеют громадные размеры и большое энергопотребление.

Предложений по кардинальному решению данной проблемы за прошедшие 25 лет не появилось.

Для запоминания и воспроизведения длинно-импульсных радиосигналов, для обработки которых применяются сжимающие фильтры, можно не полностью их воспроизводить, искусственно укорачивая их длительность. Это приведет к уменьшению требуемого количества одновременно воспроизводимых радиосигналов в ЦУЗВР.

Однако при этом структура воспроизводимого радиосигнала исказится, что проявится в форме сжатого сигнала и уровне его боковых лепестков.

Исследования показали, что допустимо укорачивать воспроизводимый радиосигнал до 50 % [4, 13]. Это позволяет в два раза уменьшить число одновременно воспроизводимых в ЦУЗВР радиосигналов.

Литература

1. Lowenschuss, O. Когерентная ВЧ память – новое средство для обработки сигналов. / O. Lowenschuss // IEENACON-80. Proc., Dayton. – P. 1188–1194 (пер. № 81/42813, фонд ГПНТБ).

2. Пам. 4280219 США, Gordon Digital Memory System / O. Lowenschuss, E. Bruce E. – № 4280219, опублик. 21.07.1981.

3. Лари, У. Разработка нового авиационного оборудования / У. Лари // *Электроника*. – 1986. – № 10. – С. 34.
4. Карманов, Ю. Т. Исследование параметров цифровых устройств запоминания и воспроизведения радиосигналов / Ю. Т. Карманов, В. М. Рукавишников, М. И. Шуняев // *Сборник научных трудов ЧПИ*. – 1980. – С. 70–76.
5. Карманов, Ю.Т. Цифровая обработка радиолокационных сигналов на фоне активных помех / Ю. Т. Карманов, В. В. Родионов // *Тезисы доклада НТК молодых ученых уральской зоны, Свердловск, 1974*. – С. 15–17.
6. А. с. 187159 СССР. Цифровой формирователь многократных ответных радиосигналов / Ю. Т. Карманов, М. И. Шуняев, В. М. Рукавишников, В. А. Хабин, заявлено 5.11.80.
7. Ван Брант, Л. Б. Справочник по методам радиоэлектронного подавления и помехозащиты с радиолокационным управлением / Л. Б. Ван Брант, под ред. К. И. Фомичева, П. М. Юдина. – 1985.
8. Афинов, В. Состояние и перспективы развития средств РЭБ армии США / В. Афинов // *Зарубежное военное обозрение*. – 1989 – № 6. – С. 20.
9. Ильзамег, Е. Необходимость создания новых систем электронной войны / Е. Ильзамег (пер. № П-7344, фонд НИИЭР).
10. Родионов, В. В. Спектры радиосигналов на выходе устройств квантования и дискретизации / В. В. Родионов, А. В. Сомов. – Челябинск: ЧГТУ, 1994.
11. Баранов, Л. А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления / Л. А. Баранов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
12. Рукавишников, В. М. О квантовании и дискретизации фазы сигнала в присутствии помех / В. М. Рукавишников, В. И. Рыжов // *Теория и техника радиосистем*. – Челябинск: ЧПИ – С. 52–26.
13. Карманов, Ю. Т. Цифровые способы запоминания и воспроизведения радиосигналов / Ю. Т. Карманов, В. М. Рукавишников // *Цифровые радиотехнические системы*. – 1997. – № 1. – Режим доступа: <http://www.drts.susu.ac.ru>, свободный.
14. Взгляды США на развитие ВВС в начале XXI века // *Зарубежное военное обозрение*. – 1998. – Вып. 1.
15. Имореев, В. А. Сверхширокополосные радары: новые возможности, научные проблемы, системные особенности / В. А. Имореев // *Вестник МРТУ*. – 1998.
16. Рукавишников, В. М. Цифровой серродинный преобразователь частоты / В. М. Рукавишников, В. Н. Мельников // *Теория и техника радиосистем: Сб. научных трудов ЧПИ № 273*. – Челябинск: ЧПИ, 1982. – С. 33–36.
17. Шуняев, М. И. Цифровые методы запоминания и воспроизведения радиосигналов / М. И. Шуняев, В. М. Рукавишников, В. Н. Мельников // *Теория и техника радиосистем: Сб. научных трудов ЧПИ, № 273*. – Челябинск: ЧПИ. – 1982. – С. 39–44.
18. Техническое описание микросхемы 1879ВМЗ (DSM), Версия 1.1. ЮФКВ 431268001 Т01К. – М.: Научно-технический центр «Модуль».

К 45-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЮУрГУ

Л.С. Казаринов, А.Г. Щипицын

Кафедра систем управления организована 15 ноября 1962 г. на основании приказа Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР № 149 от 12 ноября 1962 г. Начальное название кафедры — «Автоматическое регулирование». Далее кафедра была переименована в «Системы автоматического управления» (САУ), затем — «Системы управления» (СУ) [1, 2].

В 1962 г. была начата подготовка специалистов для страны по системам автоматического управления летательными аппаратами.

К 2007 г. кафедрой подготовлено более трёх тысяч специалистов с высшим техническим образованием, защищено 79 кандидатских и 12 докторских диссертаций.

Кафедра имеет выпускников, которые стали руководителями разных уровней в различных сферах, в том числе, в оборонно-промышленном комплексе. Выпускники и сотрудники кафедры в разное время занимались проблемами разработки систем управления и навигации для баллистических ракет подводных лодок.

На кафедре развивались четыре основных научных направления [1, 2]:

- стохастические системы управления;
- астронавигационные приборы и системы;
- автономные источники питания;
- системы полунатурного моделирования.

Научная работа велась по договорам с такими крупными предприятиями, как НПО автоматики г. Екатеринбурга, КБ электроприборостроения г. Харькова, СКБ «Ротор» г. Челябинска, ГРЦ КБ имени академика В.П. Макеева г. Миасса.

История кафедры СУ неразрывно связана с именем первого заведующего кафедрой Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Георгия Севировича Черноуцкого (рис. 1).

Ученики Г.С. Черноуцкого — ученые — становились заведующими кафедр университета. В их числе профессор Б.С. Яковлев, В.А. Цыганков, В.С. Жабреев, Ю.А. Усачев, В.И. Ширяев, А.Л. Шестаков, Л.С. Казаринов, Ю.С. Смирнов.

Под руководством Г.С. Черноуцкого было разработано и внедрено на ведущих предприятиях страны 18 моделирующих стендов. В 1966 г. на кафедре был создан конструкторский отдел, который возглавил В.Н. Шишаков. К 1968 г. был спроектирован, а в 1970 г. — изготовлен динамический стенд ДС-3, характеристики которого не могли улучшить ведущие фирмы страны. ДС-3 до настоящего времени используется для испытания сложных навигационных систем. К 1975 г. основным стало научное направление, связанное с соз-

данием стендов для полунатурного моделирования движения летательных аппаратов. Одной из первых работ в этой области был вестибулометрический стенд, автор которого — Арнольд Петрович Сибрин, ученик Г.С. Черноуцкого. Испытания на этом стенде прошли первые советские космонавты. В 1987 г. на кафедре открылась отраслевая научно-исследовательская лаборатория (ОНИЛ) «Система», научным руководителем которой стал д.т.н., профессор А.П. Сибрин. Основным научным направлением лаборатории было создание моделирующих стендов и астровизирующих устройств. Появились заказы со стороны предприятий Министерства общего машиностроения СССР. Одна из работ этой лаборатории — многостепенный динамический стенд (рис. 2), имитирующий ветровые нагрузки на воздушно-космический самолет (ВКС) «Буран». Стенд позволил в лабораторных условиях выявить более 20 неисправностей навигационного комплекса ВКС «Буран». За эту и другие раз-

работки кафедры систем управления и ОНИЛ «Система» восемь человек были награждены орденами и медалями.

В течение первых тридцати лет кафедра успешно развивалась как благодаря хорошей государственной поддержке, так и благодаря интеллекту и трудолюбию сотрудников. За это время созданы



Рис. 1. Георгий Севирович Черноуцкий

научные направления: динамические моделирующие стенды для испытаний систем навигации и управления; автоматические системы бурения скважин; автономные источники питания систем автоматического управления; астронавигационные системы; вестибулометрические системы.

В трудные для России девяностые годы кафедра сохранила творческий потенциал и традиции научной школы Г.С. Черноуцкого.

За период 1993–2007 гг. защищено 3 докторских и 12 кандидатских диссертаций. Выпускники кафедры успешно работают в области экономических наук, в административных, банковских, коммерческих и предпринимательских структурах, занимаются научными работами и инженерными разработками в конверсионных отраслях промышленности. Кафедра участвует в решении проблем по международной программе «Здоровая семья»: защищены две кандидатские диссертации по задачам создания комплекса для восстановления двигательной активности человека — большого cerebr-

ральным параличом и защищена кандидатская диссертация в рамках проблемы создания комплекса по утилизации производственных отходов. Восстанавливаются научные связи с Научно-производственным объединением автоматики имени академика Н.А. Семихатова, Российским федеральным ядерным центром города Снежинска имени академика Е.И. Забахина и ГРЦ КБ имени академика В.П. Макеева. В 2005, 2006 гг. защищены три кандидатские диссертации по оборонной тематике. В целом за 45 лет кафедра выпустила 3245 дипломированных специалистов, выпускниками и сотрудниками кафедры защищено 79 кандидатских диссертаций (в том числе 9 за последние пять лет) и 12 докторских диссертаций.

В настоящее время на кафедре работает 16 преподавателей и сотрудников (рис. 3), в том числе 4 доктора наук, профессора и 11 кандидатов наук, доцентов, а также 10 аспирантов.

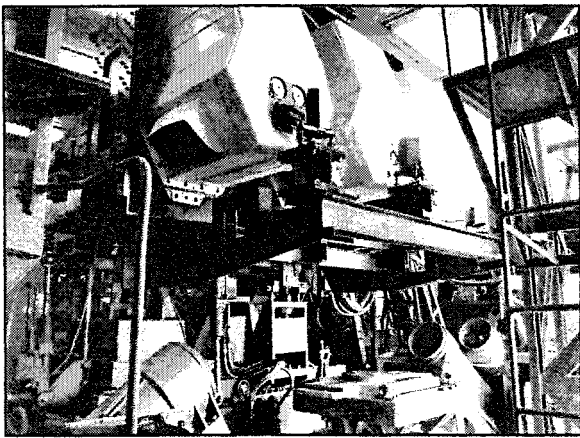


Рис. 2. Стенд для оценки влияния ветровых нагрузок на систему управления ВКС «Буран»

С момента образования по 1987 г. кафедрой руководил Г.С. Черноуцкий, ученый, специалист в области стохастических систем автоматического управления, д.т.н. (1966 г.), профессор (1967 г.), Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1973 г.). В 1955 г. к.т.н., доцент Г.С. Черноуцкий начал научно-педагогическую деятельность в Челябинском политехническом институте. С 1956 г. – заведующий первой на приборостроительном факультете кафедры автоматики и телемеханики, с 1962 г. – заведующий вновь организованной кафедры систем автоматического управления. Кафедра под руководством Г.С. Черноуцкого выпускала специалистов в областях автоматического управления, автоматизированных и робототехнических систем. В 1966 г. Г.С. Черноуцкий защитил докторскую диссертацию, в 1967 г. утвержден в ученое звание профессора. Основное направление научной деятельности – теория стохастических систем и разработка инженерных методов расчета систем автоматического управления со случайными параметрами. Г.С. Черноуцкий и руководимый им коллектив были тесно связаны с

рядом крупнейших оборонных научно-исследовательских и промышленных организаций. В отраслевой лаборатории «Система», открытой при кафедре, были разработаны и внедрены на предприятиях страны 18 динамических стендов для полунатурного моделирования движения подвижных объектов. Г.С. Черноуцким создана научная школа по различным направлениям теории систем управления, под его руководством 69 аспирантов и соискателей защитили кандидатские диссертации, а 14 из них стали докторами наук. Опубликовано две монографии, более 200 печатных работ, получено 35 авторских свидетельств и патентов. Его научные работы получили международное признание. Г.С. Черноуцкий активно занимался общественно-научной деятельностью; был заместителем председателя территориального Комитета по системному анализу при президиуме АН СССР, председателем регионального совета по комплексной проблеме «Роботы и робототехнические системы», членом учебно-методических советов Минвуза СССР, членом и руководителем Советов по защите кандидатских и докторских диссертаций. В 1973 г. Указом Президиума Верховного Совета РСФСР присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР». Награжден орденом Трудового Красного Знамени (1971 г.) и пятью медалями. По решению ученого Совета университета Г.С. Черноуцкому присвоено звание «Почетный профессор ЧГУ» (1996 г.). Установлен памятный бюст в мемориальной галерее ЮУрГУ (2001 г.).

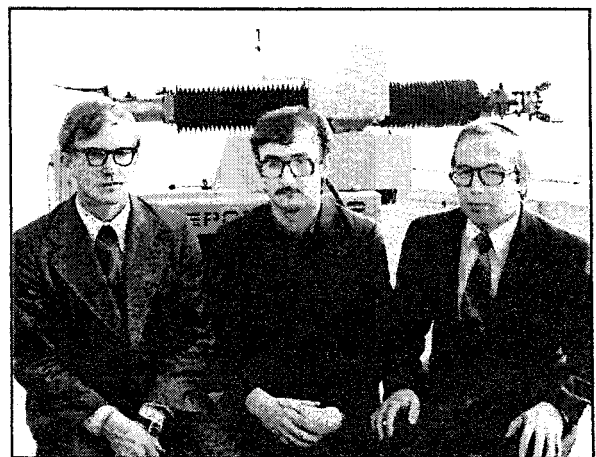


Рис. 3. Выпускники и сотрудники кафедры: слева направо – А.Л. Шестаков, А.В. Новоселов, С.Г. Барыкин

С 1987 г. по 1991 г. кафедру возглавлял Арнольд Петрович Сибрин, ученый практик, специалист по системам автоматического управления сложными динамическими объектами, д.т.н. (1984 г.), профессор (1986 г.). В 1959 г. окончил приборостроительный факультет ЧПИ. С того же года ассистент кафедры автоматики и телемеханики ЧПИ. В 1962–1965 гг. учился в аспирантуре при кафедре систем автоматического управления. С 1965 г. – старший преподаватель кафедры. В

1967 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1968 г. доцент кафедры САУ. С 1980 г. заместитель заведующего кафедрой по научной работе, с 1987 г. заведующий кафедрой. Читал учебные курсы по автоматическому управлению, проектированию и конструированию динамических стендов, робототехнике. Научной работой занимался с 1956 г., неоднократно выступал с докладами на всесоюзных научных конференциях. На основе проведённых исследований разработал учебный курс «Комплексные системы моделирования». Кандидатская диссертация на тему «Автоматизированная система управления вестибулометрической установкой» выполнена по результатам создания биотехнических стендов, испытания на которых прошли многие космонавты. Существенный вклад он внёс в разработку систем автоматического управления сложными манипуляционными объектами. Под его руководством создано несколько испытательных стендов летательных аппаратов, которые дали огромный экономический эффект при отработке систем управления подвижными объектами. Дальнейшая деятельность А.П. Сибрина была посвящена развитию роботостроения, подготовке кадров в этой области. Кафедра систем управления при его активном участии приступила к подготовке инженеров по специальности «Робототехнические системы»; открыта аспирантура по этому направлению. А.П. Сибрин – автор более 100 научных работ, более 50 авторских свидетельств, активно занимался общественно-научной деятельностью: являлся членом и руководителем Совета по защите кандидатских и докторских диссертаций, ученым секретарем регионального совета по комплексной проблеме «Роботы и робототехническое системы», член методической комиссии Министерства высшего образования СССР, руководитель межотраслевой лаборатории «Система», оснастившей многие предприятия уникальными динамическими испытательными стендами. Награждён орденом «Знак Почета» (1978 г.).

С 1991 г. по 2002 г. кафедрой заведовал Вячеслав Сергеевич Жабреев. В 1966 г. окончил Челябинский политехнический институт по специальности «Системы автоматического управления», с 1966 г. по 1980 г. работал на кафедре «Системы автоматического управления» в должностях: старшего инженера, ассистента, старшего преподавателя, доцента. 30 лет работал в должности заведующего кафедрами. В 1980 г. был избран по конкурсу и в 1985 г. переизбран заведующим кафедрой общей электротехники. В 1983 г. защитил докторскую диссертацию в МВТУ имени Н.Э. Баумана. В 1985 г. избран заведующим кафедрой радиотехнических систем. С 1991 г. по конкурсу работал заведующим кафедрой «Системы управления». В 1994 г. был избран член-корреспондентом Международной академии информатизации. Действительный член Международной академии научных открытий и изобре-

тений. В течение всего периода работы участвовал в ответственных научных работах на различных должностях от старшего инженера, руководителя группы до главного научного сотрудника, руководителя хоздоговорных тем отраслевого значения по Постановлению Правительства. Работает в области современной теории и средств информационных управляющих систем и их элементов. Автор свыше 200 трудов и публикаций, среди которых 50 изобретений и патентов, специальные отчеты по НИР, соавтор 3 книг центральных издательств, 30 учебно-методических пособий. Его труд в области теоретической информатики, средств систем управления, новых технологий, медицинских аппаратов характеризуется следующими вехами: создание теории, методов и техники информационных управляющих систем и их элементов на основе развития теории марковской нелинейной фильтрации; разработка алгоритмов обработки информации и навигационных систем; алгоритмическое обеспечение систем и приборов, технической диагностики и автоматизации научного эксперимента; оригинальные медицинские аппараты, в основе которых используются краевые электростатические поля, тихий разряд, предназначенные для аэроионизации воздуха, для воздействия на мышечные ткани, для бескровного, локального введения лекарств. Является членом докторского диссертационного совета по специальности 05.13.10 – «Управление в социально-экономических системах». Он многократно выступал оппонентом, был руководителем и консультантом 20 кандидатов и двух докторов наук. Имеет публикации по тематике управления в социально-экономических системах, в областях менеджмента качества и многоуровневого образования. Его руководство кафедрой осуществлялось в трудное для России время. Вячеславу Сергеевичу удалось сохранить основную преподавательский состав кафедры. Его большая заслуга заключается в создании на кафедре первой в ЮУрГУ двухуровневой подготовки специалистов: «бакалавр–магистр» по двум направлениям. По его инициативе открыта на кафедре подготовка инженеров для очной, вечерней, заочной форм и в Ашинском филиале ЮУрГУ по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления», являющейся наиболее популярной в настоящее время. В настоящее время В.С. Жабреев заведует кафедрой вычислительной техники Челябинского института путей сообщения.

С 1 декабря 2004 г. по 31 октября 2005 г. обязанности заведующего кафедрой исполнял Рамазан Хабибрахманович Юсупов, д.т.н., профессор. В 1974 г. окончил ЧПИ по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий и городов». В 1985 г. защитил кандидатскую, в 1993 г. докторскую диссертацию. С 1976 г. работал в ЧИМЭСХ (ныне ЧГАУ): младшим, затем старшим научным

сотрудником, ассистентом, доцентом, заведующим кафедрой автоматизации сельскохозяйственного производства. Член диссертационных советов ЮУрГУ и ЧГАУ.

С 15 мая 2002 г. после выборов по 1 декабря 2004 г. и с 1 ноября 2005 г. после альтернативных выборов по настоящее время кафедрой руководит Щипицын Анатолий Георгиевич, д.т.н., профессор, действительный член Международной академии навигации и управления движением. В 1965 г. окончил физико-математическую школу, в 1970 г. окончил с отличием Челябинский политехнический институт с получением квалификации инженера-электромеханика и распределён на кафедру гироскопических приборов и устройств, работал на этой кафедре в должностях: инженера, старшего инженера (1970, 1971 гг.), ассистента (1971–1978 гг.), старшего преподавателя (1978–1979 гг.). После окончания заочной аспирантуры в Московском энергетическом институте у руководителей д.т.н., профессора Л.И. Ткачёва и д.т.н., профессора К.В. Егорова и защиты в специализированном совете этого института кандидатской диссертации по специальности «Техническая кибернетика» (24.03.1978 г.) работал на кафедре гироскопических приборов и устройств в должности доцента (1979–1994 гг.). После защиты докторской диссертации (10.06.1993 г.) на стыке специальностей «Системы обработки информации и управления» и «Гироскопы, навигационные приборы и комплексы» с 1994 г. по май 2002 г. работал в должности профессора этой же кафедры, переименованной в 1996 г. в кафедру «Приборостроение». С октября 1999 г. по ноябрь 2002 г. по совместительству работал в должности начальника Управления научных исследований. С 15 мая 2002 г. по 1 декабря 2004 г. работал в должности заведующего кафедрой систем управления, с 1 декабря 2004 г. по 31 октября 2005 г. – в должности профессора кафедры систем управления, с 1 ноября 2005 г. путём альтернативных выборов избран на должность заведующего кафедрой систем управления. С 1978 г. руководит и участвует в выполнении научно-исследовательских работ по разработке математических моделей, анализу и синтезу инерциальных навигационных систем летательных аппаратов по договорам с организациями оборонного профиля и, кроме этого, с 1995 г. руководит и выполняет научно-исследовательские работы в области создания медицинской техники. Разработал основы теории инерциальных навигационных систем с устройствами структурно-алгоритмического повышения точности, предложил основанную на разработанных математических моделях, алгоритмах и программах методику теоретической поддержки принятия решений при выборе схем инерциальных навигационных систем для объектов различного назначения. В области медицинской техники разработал математическое и алгоритмическое обеспечение для задач синтеза системы

стимуляции мышц и восстановления двигательной активности человека, большого церебральным параличом. Руководил двадцатью шестью хозяйственными и государственными НИР, в том числе шестью работами по полученным грантам РФФИ, Министерства образования РФ. Имеет 214 публикаций, в том числе 15 авторских свидетельств и патентов, 3 монографии, 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, 23 учебных пособия. Научные работы по структурно-алгоритмическому повышению точности инерциальных навигационных систем, выполненные в рамках НИР «Форсаж» и «Облик-1» по Постановлению Правительства внедрены с положительным эффектом в разработки НПО автоматики города Екатеринбург в 1991 г., а также внедрены в разработки КБ Электроприборостроения города Харькова и СКБ «Вектор» города Ижевска. С 1996 г. руководит аспирантами и соискателями, в результате защищены пять кандидатских диссертаций. В настоящее время под его руководством работают пять аспирантов. Член двух докторских диссертационных советов при Южно-Уральском государственном университете, в которых поддерживает специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации». Неоднократно выступал официальным оппонентом. В 1998 г. избран действительным членом Международной Академии навигации и управления движением. Имеет опыт преподавания дисциплин: «Теоретическая механика», «Прикладная механика», «Теория гироскопов», «Инерциальные навигационные системы», «Вероятностные методы в гироскопии и навигации», «Теория, расчёт и проектирование электромеханических приборов и систем». В настоящее время ведёт учебный процесс по дисциплинам: «Общая теория управления», «Методология науки управления», «Современные проблемы науки», «Введение в направление», «Надёжность систем ориентации, стабилизации и навигации», «Теория решения изобретательских задач». С 1972 г. под его руководством защищено 126 дипломных проектов и работ выпускниками кафедр приборостроения и систем управления. В 2000, 2001 гг. прошёл учёбу на Международном факультете ЮУрГУ в рамках Открытого университета Великобритании и получил сертификат по специальности «Эффективный менеджер». В 2002, 2004, 2005, 2007 гг. по приглашению и за счёт принимающей стороны был в недельных командировках в городе Сиане Китайской Народной Республики по обмену опытом научной и педагогической деятельности. Имеет грамоту Министерства за руководство студенческой научной работой, награждённой медалью на Всесоюзном конкурсе, а также несколько грамот и благодарностей от администраций Челябинской области и университета. В 2003 г. награжден медалью Федерации космонавтики РФ имени академика Н.А. Семихатова за дос-

тижения в области разработок инерциальных навигационных систем летательных аппаратов.

На кафедре СУ ведется научная работа по следующим направлениям:

- Автоматизация и оптимизация управления технологическими процессами (д.т.н., профессор Владимир Николаевич Глухов);
- Диагностические системы и комплексы (д.т.н. Владимир Иванович Неволин);
- Динамика дискретных многомерных систем автоматического управления (к.т.н., доцент Георгий Валентинович Зырянов);
- Интеллектуальные системы управления (к.т.н., доцент Сергей Григорьевич Барыкин);
- Медицинские лечебные и диагностические системы и комплексы (д.т.н., профессор Анатолий Георгиевич Щипицын);
- Микропроцессорные системы управления (к.т.н., доцент Владимир Олегович Чернецкий);
- Моделирование и идентификация систем автоматического управления (д.т.н., профессор Михаил Николаевич Устюгов);
- Моделирование и оптимизация в управлении электрофизическими объектами (к.т.н., доцент Ольга Олеговна Павловская);
- Навигационные системы и комплексы (д.т.н., профессор Анатолий Георгиевич Щипицын, инженер Леонид Алексеевич Фокин);
- Оптимальные и адаптивные системы автоматического управления (к.т.н., доцент Владимир Иванович Долбенков);
- Оптимизация управления теплофизическими процессами (к.т.н., доцент Евгений Анатольевич Алешин);
- Параметрическая оптимизация систем автоматического управления (к.т.н., доцент Наталья Валерьевна Плотникова);
- Синтез управления комплексами по утилизации производственных отходов (к.т.н., доцент Ольга Сергеевна Ваулина);
- Системы автоматического и автоматизированного управления с применением микропроцессоров и вычислительных машин (к.т.н., доцент Виктор Борисович Садов);
- Управление на основе нечеткой логики, компьютерная графика (к.т.н. Ирина Владимировна Чернецкая);
- Управляемые электроприводы для сложных механических объектов (к.т.н., доцент Татьяна Константиновна Подлинева).

На ежегодные научно-технические конференции ЮУрГУ по секции систем управления выносятся по 20–30 докладов, ежегодно по 3–4 сотрудника кафедры участвуют в республиканских и международных научных конференциях. Результаты научных исследований кафедры используются в учебном процессе при подготовке лекционных материалов, заданий на проведение лабораторно-практических занятий, выполнение

курсовых и дипломных проектов. С участием студентов созданы стенды для лабораторных занятий. На ежегодные студенческие научно-технические конференции ЮУрГУ по секции систем управления выносятся по 30–40 докладов по темам научных направлений кафедры.

При организации учебного процесса главными ориентирами коллектива кафедры являются интересы и потребности студентов с учетом рыночных условий трудоустройства, для чего проведена работа по выбору и реализации образовательных программ с двухуровневой подготовкой специалистов, так как после бакалавриата и магистратуры адаптация в новых условиях государственного устройства проходит более успешно, а у предприятий появляется возможность трудоустройства выпускников кафедры по своему профилю с усиленной профессиональной подготовкой.

Выпускники кафедры – инженеры, бакалавры и магистры – востребованы предприятиями области. Кроме того, студенты обучаются и трудоустраиваются за рубежом, а в последующем снова трудиться в России. В целом, течение последних пятнадцати лет за счет своих сил и средств кафедра, в основном, завершила конверсию с созданием «двойных» образовательных технологий и реструктуризации учебного процесса в новых условиях. Учебно-методические комплексы дисциплин кафедры содержат методические разработки по самостоятельной работе студентов, курсовым работам, промежуточным аттестациям студентов. Организована система образования в Ашинском филиале ЮУрГУ по направлениям «Системный анализ и управление», «Автоматизация и управление».

В учебный процесс внедрены программные продукты VisSim, MathCAD, MATLAB, язык программирования C++, программирование баз данных на языках FoxPro, C++ Builder, графический пакет CorelDraw, а также программные пакеты, разработанные сотрудниками кафедры. Разработаны электронные учебные пособия по дисциплинам: «Базы данных», «Алгоритмические языки и программирование», «Вычислительная математика», «Дискретная математика», «Теория автоматического управления», «Микропроцессорные системы управления», «Операционные системы». На кафедре работают три компьютерных класса: класс «Лаборатория интеллектуальных технологий», класс «Лаборатория моделирования», класс с выходом в INTERNET. С 2004 учебного года модернизировано преподавание дисциплин «Введение в направление», «Введение в специальность» для всех первокурсников кафедры. В рамках этой дисциплины студенты в первом семестре знакомятся с университетом, факультетом, кафедрой, государственным образовательным стандартом направления и специальности, приобретают умения пользоваться современным техническим оснащением библиотеки. Кроме этого, в рамках этой

дисциплины студенты-первокурсники кафедры систем управления знакомятся с общей блок-схемой управления любым процессом, являющейся основой для выполнения творческой части курсовой работы по дисциплине, в задание на которую входит описание процесса своей учёбы. Вместе с этим в программах этих дисциплин содержится информация воспитательного характера о вреде всякого алкоголя и табака. С 2005 учебного года всем студентам пятого курса кафедры в рамках «дисциплины по выбору» и дисциплин магистерских специализаций федеральных компонент «История и методология науки», «Современные проблемы науки» даётся, в частности, информация о результатах научных работ сотрудников кафедры и информация о процедурах оформления заявок на изобретение и на получение свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, заявок на гранты, о процедурах оформления научных публикаций типа статей, тезисов докладов, отчётов о НИР. Эти навыки закрепляются выполнением студентами пятикурсниками курсовых работ, в задание по которым входит, кроме основной части, ещё и задание по оформлению заявки на грант. В настоящее время на кафедре систем управления ведётся подготовка инженеров, бакалавров и магистров по следующим направлениям и специальностям.

16040365 – «Системы управления летательными аппаратами». Квалификация – инженер. Срок обучения – 5 лет. Область профессиональной деятельности: системы управления, ориентации и навигации, пилотажно-навигационные электроэнергетические комплексы летательных аппаратов, морских судов и подвижных объектов других типов, методы их исследования, принципы и способы их проектирования и производства, методы и средства испытаний и контроля приборов, систем и комплексов в целом.

23010265 – «Автоматизированные системы обработки информации и управления». Квалификация – инженер. Срок обучения – 5 лет. Область профессиональной деятельности: проектно-конструкторская, производственная и технологическая, научно-исследовательская, организационно-управленческая, эксплуатационная.

22020062 – «Автоматизация и управление». Степень – бакалавр техники и технологии. Срок обучения – 4 года, по окончании выдается диплом бакалавра, после чего можно продолжить обучение в магистратуре. Область профессиональной деятельности: автоматические и автоматизированные системы и средства контроля и управления, их математическое, информационное, техническое и программное обеспечение, способы и методы их проектирования, отладки, производства и эксплуатации.

22020068 – «Автоматизация управления в административных, финансовых и коммерческих сферах». Степень – магистр техники и технологии. Срок обучения – 2 года, по окончании выдается

диплом магистра. Область профессиональной деятельности: область науки и техники, которая включает в себя совокупность систем, средств, методов и способов человеческой деятельности, направленных на создание и применение алгоритмического, аппаратного и программного обеспечения систем и средств контроля и управления подвижными объектами, автономными системами, технологическими линиями и процессами, освобождающими человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, информации.

22010062 – «Системный анализ и управление». Степень – бакалавр техники и технологии. Срок обучения – 4 года, по окончании выдается диплом бакалавра, после чего можно продолжить обучение в магистратуре. Область профессиональной деятельности: научно-исследовательская, проектно-конструкторская, производственная и технологическая, организационно-управленческая, системное проектирование и управление, системное программирование, системный анализ проектов.

22010068 – «Теория и математические методы системного анализа и управления в технических системах». Степень – магистр техники и технологии. Срок обучения – 2 года, по окончании выдается диплом магистра. Область профессиональной деятельности: область науки и техники, которая включает в себя совокупность систем, средств, методов и способов человеческой деятельности, направленных на моделирование, анализ, синтез, производство и эксплуатацию систем, приборов и устройств различного назначения для проектирования и управления сложными системами.

В 2007–2008 гг. кафедра систем управления участвует в реализации своих компонент приоритетного национального проекта ЮУрГУ, в рамках которого закупается оборудование и программное обеспечение на сумму более двух миллионов рублей для создания лабораторий «Информатика и управление», «Навигация и управление движением», а также планируется повышение квалификации за рубежом трёх преподавателей, разработка учебных пособий и методических указаний по проведению лабораторных занятий в создаваемых лабораториях и модернизации преподавания трёх дисциплин по специальностям и направлениям учебного процесса кафедры.

Литература

1. Щипицын, А. Г. К истории становления и развития научной школы Г.С. Черноуцко на кафедре систем управления / А. Г. Щипицын, С. Г. Барыкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2003. – Вып. 2, № 4(20). – С. 139–140.

2. Сайт кафедры Систем управления ЮУрГУ / ред. Щипицын А. Г. ; Web-мастер Шафранюк А. В. Режим доступа: <http://www.su.susu.ac.ru>, свободный.

СУЩЕСТВУЮЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ В ОБЛАСТИ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

В.Ф. Тележкин

Высшая школа – это налаженная и социально закрепленная система передачи технических знаний и опыта в той или иной области, в частности в области радиоэлектроники, через систему профессионального образования. Она готовит в целом два типа инженеров системотехников и схемотехников.

Высшую на сегодня ступень рационального обобщения в технике представляет собой именно системотехника. Инженерные задачи в настоящее время становятся комплексными и междисциплинарными и при их решении необходимо учитывать самые различные аспекты, которые раньше казались второстепенными, например, экологические и социальные аспекты. Решить эти аспекты можно с помощью системотехники, развитие которой связано с процессом интеграции инженерной деятельности, возрастанием сложности проектируемых технических систем, появлением новых прикладных дисциплин, выработкой системных принципов исследования и проектирования сложных систем. Для осуществления интеграции инженерной деятельности требуются особые специалисты, которые называются инженеры-системотехники. Эти специалисты осуществляют координацию, равно как и научно-тематическое руководство, и в плане объединения различных подсистем, и в плане объединения отдельных операций схемотехнической деятельности в единое целое. Инженер-системотехник должен сочетать в себе талант ученого, конструктора и менеджера, уметь объединять специалистов различного профиля для совместной работы. Для этого ему необходимо разбираться во многих специальных вопросах. Однако главное для него – научиться применять все полученные знания для решения двух основных системотехнических задач: обеспечения интеграции частей сложной системы в единое целое и управления процессом создания этой системы. Поэтому в списке осваиваемых дисциплин внушительное место уделяется системным и кибернетическим дисциплинам, позволяющим будущему инженеру овладеть общими методами исследования и проектирования сложных технических систем, независимо от их конкретной реализации и материальной формы.

Наряду с интеграцией инженерной деятельности наблюдается и дифференциация в сфере научно-технических дисциплин, которая в настоящее время зашла так далеко, что стало формироваться множество самых различных научно-технических дисциплин и соответствующих им сфер инженерной практики. Появились узкие специалисты – схемотехники, которые зачастую не знают, что происходит в смежной лаборатории. В сложной коопера-

ции системотехников и схемотехников можно выделить три основных направления, требующих различной подготовки соответствующих специалистов. Во-первых, это инженеры-производственники, которые призваны выполнять функции технолога, организатора производства и инженера по эксплуатации. Такого рода инженеров необходимо готовить с учетом их преимущественной практической ориентации. Во-вторых, это инженеры исследователи и разработчики, которые должны сочетать в себе функции изобретателя и проектировщика, тесно связанные с научно-исследовательской работой в области технической науки. Они становятся основным звеном в процессе соединения науки с производством. Им требуется основательная научно-техническая подготовка. Наконец, в-третьих, это инженеры-«системщики широкого профиля», задача которых – организация и управление сложной инженерной деятельностью, комплексное исследование и системное проектирование. Подготовка такого инженера-организатора и универсалиста требует самой широкой системной направленности и междисциплинарности [1,2].

1. Особенности подготовки специалистов в области радиоэлектроники на кафедре РТС ЮУрГУ

Инженер по специальности радиоэлектронные системы (РЭС) обычно ограничен в выборе конструктивных элементов и способов их изготовления. При этом конструктивные и технологические параметры оказывают существенное влияние на выбор структурной и соответствующей ей поточной схемы РЭС, а это, в свою очередь, определяет и те математические средства, которые могут быть использованы для ее расчета. Поэтому методология проектирования РЭС содержит несколько теоретических слоев, ориентированных на различные реализации технической системы. Так, для теоретической радиотехники это будут теория радиопередатчиков, теория усилителей, импульсная техника, техника сверхвысоких частот, теория электронных и ионных приборов, теория полупроводников и т.д. Каждая такая теория более полно учитывает особенности тех или иных режимов функционирования и конструктивно-технические и технологические параметры технических систем и их элементов. Однако все вышеназванные теории опираются на одну базовую методологию, исследующую общие свойства электродинамических процессов в радиотехнических устройствах, то есть на электродинамику. Кроме этого наблюдалось развитие вероятностного подхода и новых

методов обработки и синтеза сигналов в одной из важнейших отраслей радиоэлектроники – радиолокации. Прием сигналов стал рассматриваться как статистическая задача сначала в радиолокации, а затем и в радиотехнике. Таким образом, в теоретической радиолокации сформировались два слоя взаимосвязанных теоретических схем, отражающих соответственно электродинамические процессы (поточные схемы) и их статистические модели (функциональные схемы) [1].

В последнее время наблюдается изменение парадигмы научного и инженерного мышления в радиолокационной системотехнике, а именно, когда электродинамическая картина мира замещается системно-кибернетической. Радиолокация попадает в новое семейство научно-технических дисциплин, имеющих системную ориентацию. Переход от классической радиолокации к радиолокационной системотехнике – это, прежде всего, переход от разработки отдельных радиолокационных станций различного назначения к созданию многофункциональных систем. Несколько РЛС, замкнутые на один пункт сбора и обработки информации, составляют радиолокационный узел. Несколько таких узлов, обменивающихся информацией, образуют радиолокационную систему. Радиолокационная система позволяет решать задачи, которые не под силу отдельным радиолокационным средствам. При их проектировании возникает целый ряд специфически системных проблем. Любая радиолокационная система является, в свою очередь, подсистемой более крупной системы – системы управления, которая входит в еще более крупную систему, например, навигационную. В радиолокационной системотехнике для математического исследования абстрактных структурных схем используется аппарат теории графов. Изображение радиолокационной системы в виде структурного графа позволяет провести её структурно-параметрическую оптимизацию математическими средствами [2]. Применение в радиолокации концептуального и математического аппарата теории внешнего проектирования, теории информации и кибернетики позволило перейти к анализу так называемой тонкой структуры сложного сигнала, независимо от его конкретного вида. Понятие радиолокационной информации связано с описанием носителя информации (сигнала). Радиоволны при этом рассматриваются лишь как один из типов волн произвольной природы, наряду с инфракрасными и световыми колебаниями, а также рентгеновским и гамма-излучением или механическими ультразвуковыми колебаниями упругой среды. Функционирование радиолокационной системы рассматривается в системотехнике как алгоритм обработки информации [1].

Современному инженеру на практике приходится участвовать в реализации двух стадий – стадий внешнего и внутреннего проектирования. Первая стадия направлена на проработку общей

идеи системы, ее исследование с помощью теоретических средств, разработанных в соответствующей технической науке. Вторая стадия обычно связана с созданием рабочих чертежей (технического и рабочего проектов), которые служат основными документами для изготовления технической системы на производстве. На стадии внешнего проектирования решают свои задачи инженеры-системотехники. На стадии внутреннего проектирования работают в основном инженеры схемотехники и конструктора. Производственно-практическая деятельность радиоинженера по специальности 210304 – «Радиоэлектронные системы» (РЭС) связана с эксплуатацией и проектированием совокупности электронных средств, предназначенных для передачи данных (телекоммуникации), радиолокации, радионавигации, радиоуправления, дистанционного зондирования Земли и космоса с помощью аэрокосмических средств, радио- и телевидения, а также методы и средства их разработки, проектирования, производства и эксплуатации. По специальности 210304 планируется многоуровневая подготовка, включающая получение рабочих специальностей по ремонту радиотелеаппаратуры, различной электронной, сложноразвлекательной, компьютерной и связной техники. По окончании обучения в университете выпускники могут работать в научно-исследовательских и инженерных центрах, производственных предприятиях по изготовлению радиоэлектронного оборудования и техники, коммерческих организациях по ремонту, сервису, сбыту и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. Подготовка кадров по специальности 210304 – РЭС соответствует требованиям Национальной космической программы, особенно в области внедрения геоинформационных систем экологического мониторинга с использованием радиоэлектронных систем для получения многоспектральной аэрокосмической информации для решения задач природопользования, предупреждения техногенных и природных катаклизмов. В процессе обучения изучаются следующие основные дисциплины: электронные приборы, радиотехнические цепи и сигналы, квантовая и оптическая электроника, антенны и устройства СВЧ, радиопередающие и радиоприемные устройства, цифровые и импульсные устройства, техническая кибернетика, радиолокационные и радионавигационные системы и т.д.

На кафедре «Радиотехнических систем» (РТС) ведется подготовка специалистов по аналоговой и цифровой схемотехнике, по проектированию и организации эффективной работы различных радиоэлектронных систем. Например, таких систем как, радиолокационные, радионавигационные, радиоуправления наземными, воздушными и космическими аппаратами, передачи информации, дистанционного мониторинга окружающей среды, а также компьютерных систем обработки информации, перспективных высокоскоростных

модерных и радиомодерных телекоммуникаций в информационных сетях. Здесь учат не только искусству проектирования любых радиоэлектронных систем, но и системному мышлению, что позволит выпускникам быть всегда на острие профессиональной деятельности.

Специальность «Радиоэлектронные системы» – одна из самых универсальных. Она позволяет выпускникам Университета работать практически в любой отрасли народного хозяйства не только России, но и любой другой страны. Изучение радиоэлектронных систем на примерах объектов аэрокосмического профиля обеспечивает студентам самый высокий уровень знаний в области радиоэлектроники, электронной и вычислительной техники, поскольку именно в авиационной и космической отраслях эти направления достигли своего наивысшего развития. Следует особо подчеркнуть, что при подготовке по этой специальности чрезвычайно много внимания уделяется изучению всех аспектов построения и применения компьютерной техники, умению разрабатывать алгоритмическое и программное обеспечение современных ЭВМ. На старших курсах возможна углубленная подготовка в таких областях, как радиоэлектронные интеллектуальные системы. Углубленная подготовка в области радиоэлектронных интеллектуальных систем расширяет профессиональные перспективы выпускников при работе над созданием радиоэлектронных систем и комплексов для решения задач управления и обработки информации во всех отраслях науки и производства. Они способны разрабатывать, заниматься производством и эксплуатацией электронных систем любого назначения: от космических комплексов до бытовой электроники, прекрасно умеют использовать вычислительную технику, современное программирование, что позволяет найти им свое место в любой государственной, коммерческой или банковской структуре. Студенты имеют возможность изучить наиболее передовые достижения в микроэлектронике, компьютерной, лазерной и радиоэлектронной технике, системах связи, радиолокации и радионавигации, радиоуправлении и телеметрии, применять их как в оборонных, так и широко мирных отраслях, при международном сотрудничестве.

В процессе обучения студенты познают сущность и социальную значимость своей будущей профессии, основные проблемы конкретной об-

ласти своей будущей деятельности и их взаимосвязь в целостной системе знаний. Наши выпускники с успехом работают во всех отраслях национального хозяйства: от нового бизнеса до обороны, реализуя свои навыки системного анализа, умения проектировать и внедрять вычислительные системы и комплексы, и разрабатывать современные системы телекоммуникаций. Это и административные структуры, и органы внутренних дел, и различные государственные и частные предприятия, банки и другие финансовые структуры, редакции, типографии, средства массовой информации и т.д. Студенты старших курсов принимают участие в выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по заказам предприятий и организаций Южно-Уральского региона. Научные работы наших студентов неоднократно отмечались грантами Министерства образования и науки Российской Федерации. Студенты осваивают принципы построения автоматических устройств на основе микропроцессорных технологий, методы создания локальных и глобальных вычислительных сетей, методы защиты информации и построения систем радиоэлектронной охраны, теорию и практику исполнения современных автоматизированных производств. Такое сочетание знаний определяет широту спектра направлений будущей профессиональной деятельности молодого специалиста и гарантирует его востребованность. Спрос на специалистов кафедры РТС постоянно растет, а работа является не только интересной, но престижной и хорошо оплачиваемой. Специалистов кафедры РТС рады трудоустроить такие организации и предприятия как НИИИТ, ПГ «Метран», UteI, Билайн, «Мегафон», МТС, ОАО «УРАЛСВЯЗЬИНФОРМ», ОАО «Электромашина», ОАО Челябинский радиозавод «ПОЛЕТ», ОАО «Теплоприбор», ГРЦ, г. Миасс, Приборостроительный завод, г. Трехгорный, РФЯЦ, г. Снежинск, ОАО «Мечел», коммерческие управленческие и банковские структуры.

Литература

1. Горохов, В. Г. Предмет философии техники / В. Г. Горохов. – Режим доступа: <http://www.philosophy.ru/library/fnt/11.html>, свободный.
2. Тележский, В. Ф. Интегрированная структурно-параметрическая технология проектирования сложных технических комплексов / В. Ф. Тележский // Труды XXIII Российской школы «Наука и технология». – М.: РАН, 2003. – С. 516–521.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В КОРПОРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ

О.В. Логиновский, А.А. Максимов, А.С. Козлов, А.С. Зинкевич

Автоматизированная информационная система управления корпорацией должна быть максимально ориентирована на получение руководством организации качественной, непротиворечивой и своевременной информации для принятия управленческих решений. Именно поэтому среди прочих вопросов информатизации и автоматизации деятельности работников корпорации, приоритет необходимо отдавать внедрению эффективных информационных технологий в те бизнес-процессы, которые связаны с подготовкой и принятием стратегических решений руководством корпорации, поскольку именно это, в конечном счете, обеспечивает процветание всей организации, именно здесь существует реальный дефицит качественной информации.

Поскольку многие функции и объекты управления предприятий, входящих в корпорацию, и самой корпорации совпадают, то наименования многих видов программного обеспечения, используемых для автоматизации управления предприятием и корпорацией, являются идентичными. В частности, в обоих случаях используются ERP-системы, CRM-системы, системы аналитической обработки данных, электронного документооборота. Однако масштаб корпорации выдвигает новые критерии к производительности, масштабируемости программного обеспечения, а также его гибкости и возможности настраиваться под такие бизнес-процессы корпорации и методологии управления, которые обеспечивают корпоративные конкурентные преимущества. Конечно, есть и другие различия. На уровне корпорации практически не обсуждается АСУТП, поскольку оперативное управление техпроцессами осуществляется на уровне предприятия. С другой стороны, на этом уровне гораздо чаще используются программные комплексы автоматизации бизнес-процессов бюджетирования и стратегического планирования, формирования консолидированного бюджета, ведения баз знаний.

1. Отличия корпоративных информационных систем (КИС) от автоматизированных систем управления предприятием (АСУП)

В отличие от обычного предприятия корпорация имеет более сложную и разветвленную структуру потоков финансовых, материальных, имущественных и трудовых ресурсов. Такая сложность обусловлена расширением структуры и многообразием объектов управления и учета, высокой степенью иерархичности организационной структуры, географической распределенностью, разнородностью бизнес-моделей и методологий учета дочерних

предприятий/филиалов, изменчивостью организации структуры и деятельности корпорации. [2]. Все указанные качества корпорации налагают дополнительные условия на информационную систему.

Расширение структуры и многообразия объектов управления и учета. В корпорацию могут входить очень разные предприятия, например, вертикально-интегрированный холдинг может объединять в себе добывающие предприятия, обрабатывающие производства, транспортные компании и т.д. Каждое новое предприятие привносит в корпоративную методологию управления некоторую специфику в процессы учета, классификации, документооборота, которая должна получать отражение в информационной системе.

Высокая степень иерархичности организационной структуры. Корпорация с точки зрения организационной структуры является управленческой надстройкой над структурой управления предприятием, что в общем случае приводит к возникновению дополнительных уровней иерархии. Проблема заключается в том, что подобная иерархичность ведет к бюрократизации управления корпорацией. Могут быть следующие варианты решения указанной проблемы с использованием информационных технологий. Во-первых, более качественная реализация документооборота, в том числе на основе автоматизированных систем электронного документооборота с применением электронной почты, порталов, электронной цифровой подписи и пр. Во-вторых, иногда снижают количество уровней иерархии, используя такие методы управления, как матричные структуры управления, создание рабочих команд и др. В этих случаях перед службой ИТ возникает задача качественно повысить уровень коммуникаций между сотрудниками корпорации, внедрить средства совместной работы и т.д.

Географическая распределенность предприятий корпорации предъявляет свои требования к методологии управления ресурсами корпорации. Проблема состоит в том, что, с одной стороны, центральный орган управления корпорации не способен своевременно решать все проблемы, возникающие на местах, с другой стороны, наиболее эффективным с точки зрения достижения корпоративных целей является централизованное распределение ресурсов. Следовательно, филиалы корпорации в регионах должны иметь управляющий орган, способный принимать решения в критические моменты в рамках бизнес-целей корпорации, однако желательно преодолеть излишнюю децентрализацию управления. Известным вариантом

автоматизированного решения является система бюджетирования.

Разнородность бизнес-моделей и методологий учета на предприятиях корпорации приводит к потере управления и непрозрачности бизнеса в целом. Отсутствие единой корпоративной методологии ведения бизнеса во всех дочерних предприятиях холдинга является одной из важных бизнес-проблем вновь создаваемой корпорации. Одни предприятия имеют качественную методологию управления, в других ее может не быть вообще, при этом каждое предприятие эволюционно придерживается устоявшихся бизнес-процессов.

Для решения этой проблемы в аспекте информационной системы, необходимо решать следующие стратегические задачи [7]:

- разработать методы и процедуры комплексного управления корпорацией, отвечающие внутренним и внешним условиям и направленные на достижение поставленных компанией стратегических целей;
- обеспечить необходимую поддержку этих методов посредством информационной системы;
- выбрать соответствующую информационную систему и внедрить эти методы управления.

Частным вопросом этой бизнес-проблемы является разнородность информационных систем и технологий, используемых на предприятиях корпорации. Это создает дополнительные трудности в построении интегрированной корпоративной информационной системы.

Сложность и изменчивость организации структуры и деятельности корпорации. Информационная система должна обладать гибкостью и универсальностью, иметь возможность работы с использованием современных информационных технологий. Для этого информационная система должна обладать следующими качествами: наличием универсальной платформы автоматизации бизнес-функций корпорации; единством информационного пространства; обеспечивать поддержку новейших информационных технологий (ИТ).

Таким образом, корпорация имеет значительные отличительные особенности от предприятия, которые должны учитываться при построении корпоративной информационной системы.

2. Проблемы, этапы создания и архитектура корпоративной информационной системы

Для контроля и своевременного принятия управленческих решений руководству и менеджменту корпорации нужна точная и оперативная информация об осуществлении НИОКР, закупок, выпуске готовой продукции, запасах сырья, материалов и готовой продукции на складах, выполнении заявок заказчиков, управлении оборотными средствами, взаимных расчетах с поставщиками и клиентами.

Эффективное управление невозможно, в свою очередь, без автоматизации основных бизнес-процессов и процедур функционирования пред-

приятий и корпорации в целом, позволяющей вести единую базу знаний по изделиям и разработкам, точный и детальный учет операций, а также проводить оперативный анализ финансовой управленческой информации. Кроме того, важным требованием является увеличение прозрачности бизнеса, в том числе для инвесторов, что подразумевает стандартизацию бизнес-процессов предприятий, а также развитие четкой системы учета операций.

Также необходима комплексная реализация принципов унификации, оптимизации, централизации и интеграции потоков данных и объектов корпорации. Технически реализовать эти принципы должна корпоративная информационная система, основанная на корпоративной методологии управления и включающая наборы отлаженных бизнес-функций ведения финансово-хозяйственной деятельности всех подразделений корпорации.

Таким образом, главной целью развития информационной системы корпорации является совершенствование функций управления предприятиями на базе единой информационной системы и достижения «прозрачности управления» корпорации для высших, средних менеджеров и акционеров.

Одна из основных сложностей при создании новой корпоративной информационной системы управления заключается в интеграции имеющегося на предприятиях программного обеспечения и накопленных данных. Несмотря на то, что предприятия корпорации имеют достаточно самостоятельности в решении внутривозвездских задач, корпоративную информационную систему управления необходимо развивать в одном направлении и по единым стандартам. Только это позволит эффективно решить задачи достижения основных целей создания корпорации.

Таким образом, после создания корпорации возникает ряд новых задач, на разрешение которых должна быть направлена информатизация:

1. Недостаточная оперативность связи между руководящей компанией и предприятиями корпорации при возрастающих коммуникационных расходах.
2. Отсутствие централизованного сбора и контроля оперативной информации.
3. Невозможность оптимизации закупок и реализации продукции в связи с нескоординированными действиями отдельных структур.
4. Отсутствие единого банка данных об опытно-конструкторских разработках предприятий корпорации, единой базы данных клиентов.
5. Невозможность принятия быстрых управленческих решений с эффективными механизмами контроля их исполнения.

Для разрешения всех вышеперечисленных проблем необходимо:

1. Разработать концепцию корпоративной информационной системы (КИС).
2. Создать в корпорации подразделение, основной функцией которого будет внедрение и

управление корпоративными информационными технологиями. По отношению к службам информатизации предприятий данное подразделение может функционировать в одном из трех режимов: жесткой централизации, децентрализованной структуры и мягкой централизации.

3. Провести анализ и модернизацию информационных систем предприятий корпорации.

4. Разработать КИС на основе интегрирования информационных систем отдельных предприятий между собой.

Формирование КИС предусматривает создание единого информационного контура на базе программных и технических средств, который должен объединять процессы: НИОКР, планирования и управления производством и складскими запасами, финансами; материально-технического обеспечения и сбыта; учета обязательств и расчетов; ведения бухгалтерского и управленческого учета; эффективного контроля. Создание КИС формирует единое информационное пространство, начиная от отделов внутри головной компании и заканчивая структурными региональными подразделениями. Система управления решает локализацию бизнес-процессов, обеспечивает повышение рентабельности производства, выводит предприятие на новый уровень конкурентоспособности и прибыльности.

При выборе конкретных средств автоматизации управления корпорацией необходимо учесть следующие факторы:

1. Единство информационного пространства. Участки учета, планирования и управления должны функционировать в рамках единой информационной базы, что исключает необходимость двойного ввода информации и обеспечивает её прозрачность и непротиворечивость. Использование типовых решений, эффективно используемых на предприятиях корпорации в качестве платформы для создания КИС.

2. Комплексность решения. КИС должна создаваться на базе системного проекта, в котором будут учтены все требования к функциональности системы, ее аппаратно-программному комплексу, отчетности, формируемой информационной системы.

3. Оперативность получения информации для управления. Основой КИС должна стать ERP-система, обеспечивающая операционную деятельность персонала в основных процессах управления и собирающая многочисленные фактические данные в реальном масштабе времени. Стандартных возможностей конфигураций, например, ERP-систем управления предприятием, оказывается недостаточно, функционал ERP, как правило, не слишком оптимален для комплексной автоматизации организаций. Существуют следующие подходы к адаптации стандартных ERP-систем к потребностям корпорации:

- переписывание отдельных функций ERP-системы под особенности корпоративного учета;
- адаптация бизнес-логики под функциональные возможности ERP-системы;
- интеграция первого и второго вариантов.

4. Открытость системы. Программы ЭВМ, структуры баз данных, должны быть доступны для модификации и дальнейшего развития специалистами пользователя.

5. Масштабируемость системы. Возможность увеличения числа пользователей и расширение функциональности, надежность, гибкость и настраиваемость программного обеспечения.

6. Надежность и защита информации от несанкционированного доступа. Минимизация риска повреждения или потери данных, времени простоев системы в случае возникновения неполадок в работе компьютерной сети, аварий источников питания и т.п. Наличие специализированных механизмов, обеспечивающих целостность данных (фиксация изменений при транзакциях и т.д.), возможности по сохранению и восстановлению данных. Обеспечение защиты информации от несанкционированного доступа и гарантии ее целостности.

7. Сервисное обслуживание. Возможность обновления текущей версии программного обеспечения разработчиками в соответствии с изменениями действующего законодательства, требований к программному и аппаратному обеспечению. Получение обновлений в рамках одной версии, возможность перехода на следующую версию без потери информационного содержания информационной базы. Наличие реальной системы поддержки: консультации по телефону, e-mail, возможность вызова специалиста.

3. Архитектура корпоративной информационной системы

В качестве основных направлений информатизации корпорации можно выделить создание следующих подсистем.

Компьютерно-телекоммуникационная подсистема. Включает в себя: сервера, телекоммуникационные средства, компьютеры пользователей, а также периферию (принтеры, сканеры и т.п.) Характеристики серверов и инфраструктуры системы связи должны быть достаточными для обеспечения требуемой надежности, пропускной способности и нужного уровня защиты информации. При формировании спецификации оборудования необходимо оценивать риски, связанные с выходом оборудования из строя, перегрузкой и т.д., и разрабатывать меры по борьбе с ними, в том числе на основе резервирования части используемой техники.

Важным является введение системы корпоративных стандартов на используемое компьютерно-телекоммуникационное оборудование, что позволит уменьшить общую стоимость владения за счет сокращения затрат на ремонт, уменьшения склада комплектующих, возможность вхождения в программу корпоративных скидок.

Телекоммуникационную подсистему можно разделить на две части: локальные подсистемы передачи данных и глобальная сеть, связывающая предприятия корпорации между собой. Если ло-

кальные сети уже в том или ином виде, как правило, существуют, то создание глобальной сети при возникновении корпорации обычно необходимо производить с самого начала. Предприятия корпорации географически могут находиться в разных городах страны. Однако в настоящее время большинство промышленных центров имеют достаточно развитые телекоммуникационные системы, что облегчает задачу объединения локальных сетей предприятий корпорации с использованием телекоммуникационной инфраструктуры операторов связи.

Для проектирования глобальной телекоммуникационной системы КИС предпочтительно использование передовых телекоммуникационных технологий на основе VPN-сетей с использованием сертифицированных средств защиты от НСД. Телекоммуникационная подсистема должна быть использована не только для передачи компьютерных данных, но и передачи голоса или видео с использованием IP-телефонии. Это позволит значительно снизить коммуникационные затраты корпорации за счет удешевления внутреннего трафика.

Подсистема системного программного обеспечения. К указанной подсистеме относится программное обеспечение, не используемое для решения прикладных задач, но необходимое для функционирования всех остальных подсистем. Такое программное обеспечение включает в первую очередь сетевые операционные системы, устанавливаемые на серверах сети, операционные системы персональных компьютеров пользователей, драйвера устройств. Одной из главных задач указанной системы является обеспечение защиты информации, ведения общего списка пользователей или групп пользователей системы, а также определение доступности ресурсов системы для разных пользователей (групп пользователей). При разработке указанной подсистемы также необходимо использовать систему корпоративных стандартов. Это еще в большей степени, чем для аппаратных средств будет способствовать уменьшению стоимости владения за счет использования только проверенных платформ и значительно сокращению обслуживания компьютерную технику персонала.

Централизованные банки и базы данных КИС. Одним из главных факторов, который должен повысить эффективность работы корпорации является эффект объединения информационных ресурсов предприятий и организация санкционированного доступа работников корпорации к ним с использованием специальных программных комплексов. Наиболее важными централизованными ресурсами должны выступить:

1. Банк данных НИОКР предприятий.
2. Хранилище данных основных показателей производственной и финансово-экономической деятельности предприятий корпорации.
3. Банк данных клиентов-потребителей продукции.
4. Банк данных поставщиков.

5. База данных персонала корпорации.

6. База данных электронного документооборота.

7. База данных пользователей вычислительной сети, электронных адресов и др.

Прикладные подсистемы предприятий корпорации. Поскольку одним из важнейших направлений деятельности предприятий многих корпораций является проектирование и производство высокотехнологичных изделий (систем), большая часть основной работы относится к созданию проектной документации. Для автоматизации этой задачи используются системы автоматизированного проектирования (САПР).

Конструкторская подсистема системы автоматизированного проектирования (САПР) состоит в основном из следующих рабочих мест:

- рабочие места разработчиков (конструкторов);
- рабочие места, оснащенные сканером для ввода и обработки информации с бумажных носителей (чертежей, рисунков, текстов и тому подобное);
- рабочие места для вывода твердых копий информации на бумажном носителе (плоттеры, принтеры, графопостроители);
- оборудование для организации хранения информации в виде электронного архива (файл-сервер, стример, магнитооптический накопитель, дисковод CD-ROM и устройства для записи CD дисков);
- рабочие места для просмотра информации; рабочее место руководителя проектных работ.

Повысить эффективность основного производственного процесса можно за счет внедрения на предприятиях корпорации унифицированных систем автоматизированного проектирования (САПР) для стандартизации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Формирование банка данных материалов по всем работам, выполненным работниками предприятий корпорации, позволит исключить дублирующиеся разработки, а также ускорить процессы внедрения новаций, осуществлять работниками различных предприятий корпорации разработку совместных проектов и пр.

По видам автоматизируемых работ можно выделить несколько видов САПР, используемых на предприятиях корпорации:

1. Автоматизация подготовки конструкторской документации (САД-системы).
2. Автоматизация технологической подготовки производства (САМ-системы).
3. Автоматизация прочих НИОКР.

Выбор базовых систем следует делать, понимая, что пока ни одна из российских систем не готова решать задачи проектирования «тяжелого уровня». При этом отечественные САПР вполне преуспевают в области разработок «средней тяжести» и выпуске конструкторской документации. С другой стороны, ни одна из «тяжелых» систем за-

падной разработки (даже локализованная, например AutoCAD) не приспособлена к выпуску конструкторско-технологической документации, на которой строится деятельность и внутренняя отчетность отечественных предприятий. Внедрение «тяжелых» систем требует серьезной подготовки специалистов, перестройки бизнес-процессов подготовки производства, его оснащения современным оборудованием. Не говоря уже о том, что стоимость даже одного рабочего места может начинаться от 10000 долларов (не считая затрат на аппаратное обеспечение, настройку и обучение пользователей).

Использование единых справочников данных и программных средств позволяет сформировать интегрированную среду совместной работы над проектом изделия на предприятиях корпорации. Применение единых справочников, наполненных актуальной для конкретного предприятия информацией, приведет к уменьшению времени согласования документации на изделие как между проектно-конструкторскими службами, так и при передаче документации в другие отделы (материально-технического снабжения, планово-экономический и т.д.). Например, конструктор на этапе принятия решения об использовании материала будет иметь возможность выбрать именно такой материал, который при прочих равных характеристиках имеет наименьшую стоимость. Технолог же при выборе сортамента остановится на том, который доступен для заказа отделом МТС. В результате значительно сократится количество возвратов документов на доработку и, в целом, общее время подготовки производства.

Внедрение *автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП)* позволяет автоматизировать процесс основного производства, что должно приводить к сокращению расходов на оплату труда и повышению качества продукции. АСУТП сильно зависит от вида основного производства на предприятиях корпорации, поэтому необходимо рассматривать конкретные передовые отраслевые примеры их использования. Например, варианты использования АСУТП на предприятиях ферросплавного производства.

Системы оперативного управления и планирования производства. Во многих публикациях [3, 4, 5] считается, что автоматизированный вариант КИС может быть реализован только на базе корпоративной ERP-платформы, базовая функциональная структура которой содержит типовые решения по автоматизации управленческой деятельности следующих бизнес-процессов корпорации: стратегическое управление; управление финансами и контроллинг затрат; маркетинг; централизованное снабжение; клиентские услуги.

Поэтому большинство крупных корпораций в качестве ядра своей информационной системы позиционируют ERP-систему, которая формирует единое сквозное решение для управления бизнес-процессами на всех уровнях организационной

структуры компании, позволяет на основе достоверной информации, поступающей и обрабатываемой в реальном режиме времени, принимать эффективные управляющие решения. Внедрение корпоративной ERP-системы обеспечивает:

- интеграцию бизнес-процессов в рамках единой системы управления, повышение качества процесса принятия решений и продуктивности деятельности управленческих работников;
- оперативный контроль и анализ хозяйственной деятельности на основе первичных документов;
- полноту, достоверность, прозрачность и своевременность бухгалтерского, налогового и управленческого учета;
- контроль за целевым использованием запланированных расходов;
- обеспечение инвестиционной привлекательности компании;
- сокращение числа устаревших прикладных систем.

Учет на уровне дочерних предприятий и краткосрочное планирование осуществляются с помощью транзакционных систем на каждом предприятии. По своим функциональным возможностям данные системы относятся к ERP-системам. Основными функциями этих систем является автоматизация следующих бизнес-процессов:

- автоматизация бухгалтерского и управленческого учета;
- формирование и корректировка плана производства на основании портфеля заказов и плана сбыта;
- управление материальными запасами;
- расчет себестоимости продукции и анализ прибыльности направлений деятельности;
- контроль выполнения планов производства, снабжения и сбыта;
- контроль качества выпускаемой продукции;
- управление логистическими цепочками (SCM – Supply Chain Management) и управление взаимоотношениями с клиентами (CRM – Customer Relationship Management) обеспечивают эффективное ведение заказов, обработку закупок, выставление счетов, ведение товарного планирования по закупкам, заказам и запасам.

Предпочтительным является вариант внедрения на всех предприятиях корпорации одного варианта ERP-системы, с одновременной стандартизацией основных справочников (номенклатуры материалов, видов оплат труда, статей затрат и т.д.). Возможен и другой путь, при котором каждое предприятие будет иметь свою ERP-систему. В этом случае дополнительно необходимо будет внедрять на головном предприятии систему контроллинга, способную получать данные из ERP-систем предприятий.

Подсистема документооборота должна быть основана на электронной почте, включать учет

входящей/исходящей корреспонденции, формирование поручений, автоматизированную рассылку по электронной почте, поддержку электронно-цифровой подписи.

Прикладные централизованные подсистемы КИС. Подсистема сети корпоративных порталов включает, в частности, формирование системы закрытых и открытых корпоративных торговых площадок. Участниками закрытой площадки становятся существующие контрагенты предприятия – поставщики и покупатели. Предприятие при этом самостоятельно определяет условия привлечения, обслуживания и регистрации своих партнеров. Наиболее эффективно применение закрытых систем для организации распределенных дилерских и дистрибьюторских сетей, а также для создания закупочных площадок.

Подсистема финансового планирования и бюджетирования автоматизирует стратегическое планирование, учет и контроль исполнения текущих планов (план-фактный анализ) на уровне корпорации, выполняемые с помощью системы бюджетирования. При этом данные управленческого учета поступают в систему бюджетирования из транзакционных систем дочерних предприятий. Для большей эффективности указанную систему необходимо интегрировать с централизованной системой управления расчетными счетами, что существенно повысит эффективность отслеживания плановых платежей и поступлений денежных средств.

Подсистема планирования спроса и управления взаимоотношениями с клиентами (CRM – Customer Relationship Management) используется для анализа предпочтений клиентов, оценки структуры клиентов, также на ее основе автоматизируются система договоров, управление цепочками поставок, что позволяет сократить временные и финансовые издержки. Активная политика взаимодействия с клиентами в новых для отрасли рыночных условиях выражается в применении следующих инструментов:

- планирование выручки на базе выделения групп клиентов по критерию прибыльности;
- контроль факторов прибыльности клиентов;
- реализация дифференцированного подхода к клиентам;
- индивидуализация обслуживания клиентов, в основе которой – дифференциация в первую очередь по маркетинговым, а не технологическим параметрам;
- ведение профиля обслуживания и построение системы договоров на его основе;
- минимизация издержек за счет адаптации процедуры обслуживания в соответствии с заданным профилем;
- расчет эффективности инфраструктуры сбытового канала.

Подсистема управления персоналом и зарплатой (HRM – Human Resources Management)

автоматизирует известные функции в рамках современных требований и с учетом корпоративной кадровой политики.

Подсистема сводного бухгалтерского и управленческого учета. Информация в данную систему должна автоматически поступать из учетных систем предприятий корпорации, то есть они должны быть совместимы как по техническим параметрам, так и по методологии ведения учета.

Подсистема мониторинга и анализа основных показателей финансово-экономического состояния представляет для аналитиков следующие данные:

- интегрированные показатели оценки состояния предприятий (ликвидность, устойчивость, рентабельность);
- показатели объема производства в денежном, а при необходимости и в материальном выражении;
- показатели объема продаж в денежном, а при необходимости и в материальном выражении;
- показатели себестоимости продукции и анализ прибыльности направлений деятельности;
- показатели ценообразования;
- прочая бухгалтерская и управленческая отчетность.

Подсистема электронного документооборота должна быть интегрирована с аналогичными подсистемами на предприятиях корпорации, и иметь функции контроля исполнительской дисциплины.

Аналитическая деятельность в рамках корпорации достаточно разнообразна и определяется характером решаемых задач, организационными особенностями компании, уровнем и степенью подготовленности аналитиков. В связи с этим современный подход к инструментальным средствам анализа не ограничивается использованием какой-то одной технологии. В настоящее время принято различать четыре основных вида аналитической деятельности: стандартная отчетность, нерегламентированные запросы, многомерный анализ (OLAP) и извлечение знаний (data mining). Показатели для анализа должны иметь следующие измерения: по предприятиям, входящим в состав корпорации; по проектам; по акционерам; по взаиморасчетам внутри группы (как между фирмами, так и между проектами). Для такой системы необходимо предусмотреть создание *Хранилища и Витрин данных* и организовать к ним доступ с рабочих мест аналитиков.

4. Выбор способа создания корпоративной информационной системы

При решении задач автоматизации управления корпорацией по-новому, по сравнению с отдельными предприятиями, встает вопрос о *способе* создания единой автоматизированной системы и о *критериях выбора* программного обеспечения.

При создании собственной информационной системы любая корпорация вынуждена искать ответ на вопрос: разрабатывать собственную систему или

остановить свой выбор на уже существующем программном обеспечении. Возможности каждого из этих подходов очевидны, более того при определенных критериях рассмотрения большинство достоинств одного подхода являются недостатками другого и наоборот. Однако вопрос остается актуальным до сих пор. Поэтому следует еще раз рассмотреть сильные стороны индивидуального и стандартного программного обеспечения (ПО) (см. таблицу).

Помимо вышеприведенных аргументов в пользу стандартного ПО часто приводится еще

ки. Если еще совсем недавно крупнейшие игроки рынка ПО обещали предложить такой набор программных компонентов, из которого любое предприятие могло бы выбрать компоненты, покрывающие все его потребности, то сейчас стало понятно, что

- разнообразие стоящих перед различными корпорациями задач столь велико, что не позволяет продолжать унификацию программных систем;
- гибкость программных решений приобретает все большее значение, между тем как унифицированные решения практически не бывают гибкими;

Свойства индивидуального и стандартного ПО

Покупка стандартного ПО	Разработка индивидуального ПО
Реализует какую-либо известную методологию управления корпорацией	Позволяет автоматизировать уникальные процессы корпорации, создающие ее конкурентные преимущества
Огромный функционал, позволяющий автоматизировать практически любые бизнес-процессы предприятия	Автоматизируется только то, что нужно корпорации, не переплачивая за ненужный функционал
Более низкие денежные затраты, так как стоимость затрат распределяется между всеми покупателями ПО по всему миру	Существует большое количество примеров, когда стоимость индивидуальных разработок оказывается гораздо ниже, чем стоимость стандартного ПО, особенно в классе «больших ERP»
Высокая скорость внедрения ПО, поскольку не надо трагить время на разработку	Прогресс в области технологии и организации создания программного обеспечения в настоящее время позволяет заметно сократить цикл разработки ПО
Высокое качество и надежность, поскольку над созданием ПО работают тысячи программистов и тестировщиков	Современные технологии создания ПО позволяют добиться хорошего качества продукта при разработке в небольшом коллективе. Часто индивидуальное ПО оказывается технологически более современным, поскольку крупные стандартные приложения существуют многие годы и несут на себе исторический груз устаревшей архитектуры, устаревших методик разработки, которые должны поддерживаться, так как этого требует масса имеющихся инсталляций
Хорошее документирование. Над документированием стандартного ПО работают сотни специалистов	
Эргономичный дизайн. Интерфейсы стандартного ПО, как правило, стандартизированы	
Сервис и поддержка. Существует масса внедренческих фирм, которые могут поддерживать стандартное ПО	Индивидуальный подход к заказчику, разработчик может реализовать любое пожелание пользователей системы
Безопасность инвестиций. Поскольку покупается продукт у большой компании, которая существует много лет и у которой масса клиентов и миллиардные обороты, то инвестиции надёжно защищены	Волна банкротств западных ИТ-компаний поставила под вопрос безопасность инвестиций, вложенных в стандартное ПО. Даже самые известные производители стандартного ПО не могут чувствовать себя абсолютно уверенно (BAAN, JD Edwards, Peoplesoft и др.)
Поддержка большого числа компьютерных платформ	Меньшие требования к оборудованию
Эргономичный дизайн, протестированный на большом количестве рабочих мест	Разработка в тесном контакте с пользователем – более благоприятное отношение к ПО

один довод: возрастает инвестиционная привлекательность корпорации, ее капитализация и возникает возможность IPO (Initial Public Offering – первичное размещение акций) на западных биржах.

Критериями окончательного выбора между вышеописанными вариантами, как правило, являются оптимизация затрат и возможность извлечения максимальной прибыли. При этом зачастую идет поиск решений, которые позволят стабилизировать бизнес, удерживать его на достигнутом уровне. Всё затратное, долгое, трудное должно быть по возможности удешевлено, сокращено и облегчено.

В настоящее время происходит переосмысление достоинств стандартного (готового) ПО, которое при всех его очевидных преимуществах в современных условиях имеет следующие существенные недостат-

- настройка бизнес-процессов компаний на бизнес-процессы, заложенные в готовом программном решении, затратна, дорогостояща и редко заканчивается успехом;
- потребности бизнеса все чаще вынуждают предприятия отстаивать индивидуальность своих программных решений;
- готовые решения позволяют предприятию создать «кусочную автоматизацию», но не позволяют построить полноценную архитектуру программных систем.

Фактически, во многих случаях, возникает ситуация, когда стандартное ПО начинает преобразовываться в сторону индивидуального. Поскольку стандартное ПО крупных западных вендоров, очень часто не годится для отечественных условий ведения

бизнеса, специфичных для российской действительности бизнес-процессов, то, чтобы вложенные инвестиции не были выброшены на ветер, начинают на базе технологий стандартного ПО разрабатывать индивидуальное решение, где стремятся учесть все пожелания заказчика и автоматизировать только те бизнес-процессы, которые требуют автоматизации, причем так, как того хочет заказчик. В таком случае от стандартного ПО остается технологическая платформа и название, от индивидуального – возможность автоматизировать бизнес, таким образом, как этого желает пользователь. Кроме того, для заказчика это еще и возможность хотя бы частично оправдать затраченные средства, а для подрядчика – хорошая основа заработать, ведь стоимость нормо-часа программиста, специализирующегося на стандартном ПО, пожалуй, самая высокая в ИТ. Недостатки подобного подхода для заказчика вполне очевидны.

По мнению [6], большим потенциалом обладает технология создания так называемых business framework, конструкторов для построения бизнес-приложений, которые позволяют объединить преимущества стандартного и индивидуального ПО. Business framework – это набор небольших, но стандартных кирпичиков, с помощью которых можно создавать прикладное программное обеспечение под себя. Подобные идеи витают в воздухе ещё с конца 1980-х гг. Известны попытки разработки таких framework. Однако указанные конструкции невыгодны крупным фирмам – производителям стандартного ПО и поэтому никогда не доводились до завершения.

В [1] приводится мнение, что в ИТ утвердятся новое понятие – прикладная платформа, под которым автор понимает программное обеспечение, предназначенное для проектирования, разработки, выполнения и модернизации программных компонентов, автоматизирующих деятельность различных конкретных предприятий. Основные отличия таких прикладных платформ от настраиваемых программных систем заключаются в следующем:

1. Прикладная платформа позволяет предприятию создать новое ПО, а настраиваемая система позволяет только выбрать один из нескольких предопределенных вариантов. Выбор одного из вариантов фактически означает, что корпорации необходимо подстраивать под него свои бизнес-процессы. Если она при этом внедряет современную методологию управления – это хорошо. Но что делать, если при этом корпорация теряет свои ключевые преимущества? Многие тиражируемые системы имеют API, на котором можно разрабатывать дополнительные компоненты, выполненные как COM-сервера или основанные на технологии Web-сервисов. В этом случае можно говорить о настраиваемой системе, которая выступает именно как прикладная платформа. Недостатком является то, что в этом случае заказчик вынужден платить за готовое решение, хотя практически приобретает лишь платформу.

2. Прикладная платформа предполагает широкие возможности по развитию созданного на ее

основе ПО. Она позволяет добавлять программные компоненты, переписывать и развивать их. Это обеспечивает эффективную структуру совокупной стоимости владения, когда на первом этапе производятся относительно небольшие затраты на закупку собственно прикладной платформы, разработку и внедрение ядра системы, а потом развивается базовое решение.

В результате, прикладная платформа позволяет, с одной стороны, существенно сократить сроки разработки ПО, а с другой – повысить его индивидуальность, соответствие потребностям компании, ее стратегическим и оперативным задачам, запросам сотрудников и других заинтересованных лиц. Кроме того, она позволяет увеличить гибкость ПО и часто берет на себя отдельные сервисы – технические, общие для многих программных систем, такие как обеспечение безопасности, поддержка транзакционной целостности, обработка событий, управление сообщениями, и прикладные, определяемые конкретной функциональной областью предлагаемой платформы.

Пока прикладные платформы не являются универсальными, чаще они разрабатываются для отдельных функциональных областей, например для управления ресурсами предприятия, поддержки клиентов и т.п. Обычно они включают в себя также средства мониторинга программных компонентов и управления их выполнением.

Таким образом, все более популярной становится новая идеология создания программных систем: покупается прикладная платформа, на основании которой проектируется собственное программное решение, которое в дальнейшем развивается по мере необходимости.

Прикладные платформы можно разделить на два вида [1]: технические и функциональные. Первые в простейшем варианте представляют собой развитые средства разработки (например, на Java, и тогда сюда же следует отнести виртуальную машину Java, необходимую для выполнения разработанных программ). Подобные платформы годятся для создания прикладного решения в любой функциональной области, на них можно построить что угодно. Вторые обычно включают функциональные компоненты, автоматизирующие отдельные функции бизнес-процессов в определенной предметной области. В этой области функциональная платформа предлагает программные компоненты, которые можно использовать в программном решении с простейшими настройками. Например, фирма 1С в своем известном программном продукте версии 7.7 предлагает три варианта платформ: для автоматизации учета, торговли и периодических расчетов. В свою очередь, технические прикладные платформы можно разделить на несколько типов: по поддерживаемым ОС и программным языкам; по возможностям расширения и добавления новых компонентов.

Функциональные прикладные платформы также можно разделить на несколько типов:

- по охватываемой функциональной области (чем уже область, тем более «готовые» программные компоненты могут в нее входить и, значит, тем проще создание ПО на такой платформе);

- по объему и качеству предоставляемых сервисов, технических и функциональных;

- по уровню предоставляемых средств построения ПО (от высокоуровневого моделирования до написания кода на языке программирования).

В качестве основных специфических характеристик прикладных платформ обоих типов следует назвать следующие:

- зрелость платформы (насколько быстро и просто разрабатывается на ее основе готовое ПО);

- функциональные границы (какого типа ПО можно на ее основе создавать);

- простота (насколько быстро и просто можно ее освоить).

Уже сформировались стандарты прикладных платформ. В качестве наиболее популярного стандарта необходимо назвать Java 2 Platform Enterprise Edition – стандарт, объединяющий J2EE Application Server, J2SE и средства разработки и построения программных систем в стандарте J2EE и Web-сервисов. Другим стандартом, к которому часто обращаются разработчики прикладных платформ технического вида, является технология CORBA, в частности протокол IIOP и объектные сервисы. Корпорация Microsoft предлагает в качестве подобной платформы технологию .NET.

Прикладные платформы функционального вида все чаще строятся на основе стандартов бизнес-процессов, относящихся к области BPM (Business Process Management). К наиболее популярным стандартам этого типа относятся BPEL (Business Process Execution Language), BPML (Business Process Modelling Language) и BPMN (Business Process Management Notation). В списке стандартов, лежащих в основе прикладных платформ, необходимо упомянуть также SOA как идеологическую основу построения многих прикладных платформ. Основными игроками рынка универсальных прикладных платформ, а именно платформ, не привязанных к отдельной функциональной области, являются IBM (Web Sphere), BEA (Web Logic), Oracle (Application Server). К числу других следует отнести Cordys, InterSystems, Novell, SAP и Sun Microsystems (данные взяты из отчетов Gartner Group).

В отдельных функциональных областях имеют свои игроки: например, SAP является лидером в области прикладных платформ для управления ресурсами предприятия. Кроме того, можно назвать Oracle и Microsoft. С 2002 г. Microsoft создает свой business framework, который в настоящий момент находится на этапе завершения. Microsoft Business Framework (МБФ) – это иерархическая библиотека высокоуровневых программируемых объектов, предназначенных для разработки бизнес-приложений. МБФ реализован в виде библиотеки

классов .NET и может быть использован при создании приложений в среде Visual Studio. Фактически он представляет собой конструктор, позволяющий быстро создать бизнес-приложение с заданными свойствами. Таким образом, стираются грани между стандартным и индивидуальным ПО: индивидуальное бизнес-приложение создается из стандартных кирпичиков. К сожалению, пока неясно, будет ли МБФ доступен для разработчиков ПО или останется внутренним инструментом разработки для бизнес-приложений компании Microsoft.

В целом рынок прикладных платформ все еще довольно беден, и при выборе конкретного решения предприятия оказывается перед лицом существенных рисков и проблем. То есть, выбрать прикладную платформу оказывается еще труднее, чем определиться с тиражируемым программным решением. Но «конструкторы для создания бизнес-приложений» появляются, и остается надеяться, что они-то и окажутся тем средством, которое позволит совместить преимущества стандартного и индивидуального ПО, избавившись от свойственных им недостатков.

В статье [8] описывались основные базовые понятия модели описания промышленно-экономических систем, использованные для создания отечественной ERP-системы «Агат»: объект, операция, цель, процесс. Этот набор базовых понятий используется и для формирования прикладной сервисно-ориентированной платформы, разрабатываемой для формирования корпоративной информационной системы sERP Урало-сибирской горно-металлургической корпорации.

Литература

1. Анишина, М. Корпоративные системы: революция в технологиях / М. Анишина // *Intelligent Enterprise*. – 2006. – № 15. – С. 22–27.
2. Винокуров, Л. Л. Технологии управления современным предприятием / Л. Л. Винокуров // *Приложение к журналу «Информационные технологии»*. – 2005. – № 1.
3. Воропаев, В. И. Управление проектами в России / В. И. Воропаев. – М.: Аланс, 1995. – 225 с.
4. Губко, М. В. Теория игр / М. В. Губко, Д. А. Новиков. – М.: Синтез, 2002.
5. Питеркин, С. В. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем / С. В. Питеркин, Н. А. Оладков, Д. В. Исаев. – М.: Альпина Паблишер, 2002. – 368 с.
6. Сорокин, Д. Стандартное и индивидуальное ПО – что дальше? / Д. Сорокин // *Intelligent Enterprise*. – 2006. – № 15(147). – С. 12–16.
7. Сирли, Э. Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка, реализация., пер. с англ / Э. Сирли. – М.: «Вильямс», 2001. – 400 с.
8. Основные архитектурные и проектные решения отечественной ERP-системы «Агат» / А.А. Максимов и др. // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*. – 2006. – Вып. 4, № 14(69). – С. 10–15.

МЕТОД ПАРНЫХ РАССТОЯНИЙ В ЗАДАЧЕ ПОЛЕТНОЙ ЮСТИРОВКИ АСТРОДАТЧИКОВ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Б.М. Суховилов

По мере улучшения точности и надежности астрономических датчиков (АД) систем ориентации (СО) космических аппаратов (КА) доля погрешностей юстировочных параметров СО в общей погрешности ориентации КА возрастает [1]. Так, в работе [2] показано, что точность ориентации КА, оснащенных СО на базе двух и более АД, существенно зависит от точности предполетной юстировки взаимного положения АД. Отметим также, что точность оценки взаимного положения приборных систем координат (ПСК) АД непосредственно влияет на качество работы бортового алгоритма идентификации звезд, основанного на сравнении угловых расстояний между звездами.

В то же время следует отметить, что даже идеальная предполетная юстировка взаимного положения АД не способна устранить погрешности, возникающие во время эксплуатации КА. Их причинами являются: вибрационные и ударные нагрузки в моменты запуска и отделения КА; циклические температурные изменения в процессе полета; деформации оснований и деталей датчиков, вызванные старением и воздействием космической среды. Эти факторы становятся особенно ощутимыми, если КА имеет значительный срок активного существования.

Одним из эффективных методов компенсации влияния указанных факторов на точность ориентации КА является полетная юстировка взаимного положения ПСК АД, базирующаяся на методе парных расстояний, основанном на сравнении угловых расстояний между звездами, одновременно визируемыми АД, с эталонными расстояниями между этими же звездами, взятыми из бортового звездного каталога. Несомненным преимуществом метода является его применимость в условиях, когда каждый АД визирует только одну звезду.

Прежде, чем мы применим метод парных расстояний к задаче полетной юстировки, необходимо получить статистическую модель измерений АД направления на звезду.

1. Статистическая модель измерений астродатчика КА

В связи с повышением требований к точности ориентации КА происходит непрерывное совершенствование и улучшение точностных характеристик датчиков ориентации. Особое место занимают астродатчики, обеспечивающие в настоящее время наивысшую точность. Астродатчики по способу их взаимного расположения относительно корпуса КА делятся на два класса: астроследящие устройства и астровизирующие устройства. Астроследящие устройства

представляют собой астродатчик, смонтированный в кардановом подвесе, обеспечивающем совместно с электромеханическими приводами слежение за выбранными астроориентирами. Под астровизирующим устройством понимается автоматическая система с жестко закрепленным на корпусе КА звездным датчиком, с помощью которого определяются направления на визируемые звезды.

Широкое применение АД в практике потребовало создания и анализа моделей погрешностей измерения АД. Поскольку погрешности АД во многом носят случайный характер, актуальной является задача разработки статистической модели погрешностей АД.

1.1. Статистическая модель астроследящей системы на основе оптического датчика в кардановом подвесе

В настоящем параграфе представлена статистическая модель погрешностей измерения АД, астроследящее устройство которого имеет две степени свободы (установлено в двухстепенном кардановом подвесе). В дальнейшем будет показано, что данная модель распространяется также на АД астровизирующего типа, жестко прикрепленного к корпусу КА. Модель учитывает как приборные погрешности АД, так и неточности выставки приборных систем координат АД в связанной системе координат (ССК) КА и представляет собой ковариационную матрицу погрешностей измерения направляющего косинуса на звезду в ССК КА.

Введем следующие обозначения. Пусть OA – истинный, а OA' – измеренный направляющий косинус на звезду в ПСК $OXYZ$ АД. Вектор OA составляет угол γ с плоскостью XOY , а отрезок OE (проекция OA на плоскость XOY) с осью OX составляет угол α (см. рис. 1). Обозначим через $\eta_1 = AD$ – вектор погрешности измерения направления на звезду в плоскости P , перпендикулярной оси OZ , и проходящей через точку A , накрываемую кругом с радиусом $AB = \cos\gamma$, $\eta_2 = AF$ – вектор погрешности измерения направления на звезду в плоскости $OBAE$. Поскольку векторы η_1 и η_2 перпендикулярны, значение модуля $|\eta|$ вектора суммарной погрешности измерения направляющего косинуса на звезду η составит $|\eta| = \sqrt{|\eta_1|^2 + |\eta_2|^2}$.

С учетом того, что вектор OA перпендикулярен векторам η_1 и η_2 , получаем, что вектор OA

также перпендикулярен вектору суммарной погрешности η . Определим значения $|\eta_1|$ и $|\eta_2|$ в следующем виде:

$$\begin{cases} |\eta_1| = \Delta\xi_1 + \Delta a \cos \gamma; \\ |\eta_2| = \Delta\xi_2 + \Delta b, \end{cases}$$

где $\Delta\xi_1, \Delta\xi_2$ – погрешности наведения на звезду вектора OA соответственно в плоскостях P и $OBAE$; $\Delta a, \Delta b$ – погрешности отсчетных устройств АД соответственно по углам α и γ в плоскостях P и $OBAE$.

Полагая погрешности $\Delta\xi_1, \Delta\xi_2, \Delta a, \Delta b$, случайными и независимыми, получаем среднеквадратическое отклонение (СКО) σ_{η_1} и σ_{η_2} модулей векторов погрешностей $|\eta_1|$ и $|\eta_2|$ в виде:

$$\begin{cases} \sigma_{\eta_1} = \sqrt{\sigma_{\xi_1}^2 + \sigma_a^2 \cos^2 \gamma}; \\ \sigma_{\eta_2} = \sqrt{\sigma_{\xi_2}^2 + \sigma_b^2}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\sigma_{\xi_1}, \sigma_{\xi_2}, \sigma_a, \sigma_b$ – СКО $\Delta\xi_1, \Delta\xi_2, \Delta a, \Delta b$.

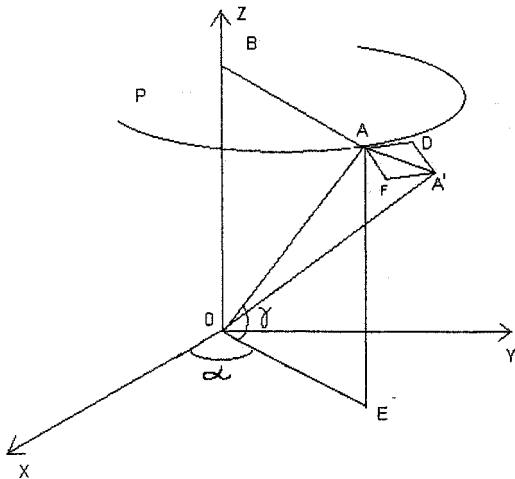


Рис. 1. Схема формирования погрешностей измерений АД

Используя (1), определим ковариационную матрицу вектора η . Обозначим β – истинный, совпадающий с вектором OA , направляющий косинус звезды в ПСК, $\hat{\beta}$ – измеренный, совпадающий с вектором OA' , направляющий косинус звезды в ПСК АД. Значение вектора η погрешности измерения направляющего косинуса на звезду в ПСК АД составит:

$$\eta = \hat{\beta} - \beta.$$

В соответствии с рис. 1, выразим декартовы координаты вектора η через его составляющие η_1 и η_2 в следующем виде:

$$\eta = \begin{bmatrix} -\sin \alpha & \sin \gamma \cos \alpha \\ \cos \alpha & \sin \gamma \sin \alpha \\ 0 & -\cos \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix}.$$

Поскольку векторы η_1 и η_2 независимы, ковариационная матрица $M[\eta\eta^T]$ вектора η составит:

$$M[\eta\eta^T] = Q \begin{bmatrix} \sigma_{\eta_1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\eta_2}^2 \end{bmatrix} Q^T. \quad (2)$$

Используя значение вектора

$$\beta = [\beta_1 \beta_2 \beta_3]^T = [\cos \gamma \cos \alpha \quad \cos \gamma \sin \alpha \quad \sin \gamma]^T, \quad (3)$$

преобразуем (2) к виду (4):

$$M[\eta\eta^T] = \begin{bmatrix} \sigma_{\eta_1}^2 \sin^2 \alpha + \sigma_{\eta_2}^2 \cos^2 \alpha & \frac{(\sigma_{\eta_2}^2 - \sigma_{\eta_1}^2) \sin 2\alpha}{2} & 0 \\ \frac{(\sigma_{\eta_2}^2 - \sigma_{\eta_1}^2) \sin 2\alpha}{2} & \sigma_{\eta_2}^2 \sin^2 \alpha + \sigma_{\eta_1}^2 \cos^2 \alpha & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\eta_2}^2 \end{bmatrix} - \sigma_{\eta_2}^2 \beta\beta^T. \quad (4)$$

Формула (4) представляет статистическую модель астроследящего устройства в виде ковариационной матрицы вектора η – погрешности измерения направления на звезду.

1.2. Статистическая модель астровизирующей системы, жестко закрепленной на корпусе КА

Используем полученные в предыдущем параграфе результаты для вывода статистической модели астровизирующего датчика, жестко закрепленного на корпусе КА. Для этого оценим значения σ_{η_1} и σ_{η_2} , делая обоснованные для практики допущения $\sigma_{\xi_1} = \sigma_{\xi_2} = \delta_1$ и $\sigma_a = \sigma_b = \delta_2$. В общем случае $\sigma_{\eta_1} \neq \sigma_{\eta_2}$, так как значение σ_{η_1} зависит от угла γ . При измерении угла γ в диапазоне паспортных значений от -5° до 85° значение $\sigma_{\eta_1}^2$ изменяется от δ_1^2 до $\delta_1^2 + \delta_2^2$, в то время как значение $\sigma_{\eta_2}^2$ постоянно и равно $\delta_1^2 + \delta_2^2$. Поэтому для получения гарантированной оценки точности АД примем для σ_{η_1} и σ_{η_2} одинаковое наибольшее возможное значение, равное $\sigma = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}$.

С учетом того, что $\sigma_{\eta_1}^2 = \sigma_{\eta_2}^2 = \sigma^2/2$, где σ – СКО погрешности измерения направления на звезду, значение ковариационной матрицы вектора η примет следующий вид:

Используя значение вектора β из (3), преобразуем (5) к следующему компактному виду:

$$M[\eta\eta^T] = \sigma^2/2 \mathbf{Q}\mathbf{Q}^T = \sigma^2/2 \begin{bmatrix} 1 - \cos^2 \alpha \cos^2 \gamma & -\sin \alpha \cos \alpha \cos^2 \gamma & -\sin \gamma \cos \gamma \cos \alpha \\ -\sin \alpha \cos \alpha \cos^2 \gamma & 1 - \cos^2 \gamma \sin^2 \alpha & -\sin \gamma \cos \gamma \\ \cos \gamma \sin \gamma \cos \alpha & -\cos \gamma \sin \gamma \sin \alpha & 1 - \sin^2 \gamma \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$M[\eta\eta^T] = \frac{\sigma^2}{2} \begin{bmatrix} 1 - \beta_1^2 & -\beta_1\beta_2 & -\beta_1\beta_3 \\ -\beta_1\beta_2 & 1 - \beta_2^2 & -\beta_2\beta_3 \\ -\beta_1\beta_3 & -\beta_2\beta_3 & 1 - \beta_3^2 \end{bmatrix} = \frac{\sigma^2}{2} (\mathbf{I}_{3 \times 3} - \beta\beta^T), \quad (6)$$

где $\mathbf{I}_{3 \times 3}$ – единичная матрица размером 3×3 .

Формула (6) определяет ковариационную матрицу вектора η , позволяющую гарантированно оценивать точность измерения направления на звезду в ПСК АД. Причем, формула (6) является справедливой и для астровизирующего устройства с широкоугольным АД (например, на базе ПЗС матрицы), жестко закрепленном на корпусе КА, показания которого снимаются не с отчетных механических устройств карданного подвеса, а с чувствительного слоя ПЗС матрицы, так как в ней исключены все особенности конкретного типа АД.

1.3. Обобщенная статистическая модель астродатчика КА

В дополнение к измерительным погрешностям АД учтем в модели (6) погрешность направляющего косинуса на звезду в ССК аппарата, возникающую из-за неточности знания положения ПСК в ССК КА.

Пусть \mathbf{C}_0 – истинная матрица перехода из ПСК в ССК, а \mathbf{C} – оценочное значение матрицы \mathbf{C}_0 . При этом, учитывая малость отклонения \mathbf{C} от \mathbf{C}_0 , матрицу \mathbf{C} представим в виде:

$$\mathbf{C} = (\mathbf{I}_{3 \times 3} + \mathbf{D})\mathbf{C}_0,$$

$$\text{где } \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & d_3 & -d_2 \\ -d_3 & 0 & d_1 \\ d_2 & -d_1 & 0 \end{bmatrix} \text{ – кососимметричная матрица погрешностей } d_1, d_2, d_3 \text{ ПСК АД в ССК КА.}$$

Значение истинного вектора β_c направляющего косинуса на звезду в ССК КА и его измеренное значение $\hat{\beta}_c$ составят:

$$\begin{cases} \beta_c = \mathbf{C}_0\beta; \\ \hat{\beta}_c = (\mathbf{I}_{3 \times 3} + \mathbf{D})\mathbf{C}_0\beta. \end{cases}$$

Вектор погрешности измерения направляющего косинуса на звезду в ССК $\Delta\beta = \hat{\beta}_c - \beta_c$ с точностью до малых второго порядка будет равен:

$$\Delta\beta = (\mathbf{I}_{3 \times 3} + \mathbf{D})\mathbf{C}_0\beta - \mathbf{C}_0\beta = \mathbf{C}_0\eta + \mathbf{P}\bar{\mathbf{D}},$$

где

$$\bar{\mathbf{D}} = [d_1 \ d_2 \ d_3]^T;$$

$$\beta_c = \mathbf{C}_0\beta = [\beta_{c1} \ \beta_{c2} \ \beta_{c3}]^T;$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & \beta_{c3} & -\beta_{c2} \\ -\beta_{c3} & 0 & \beta_{c1} \\ \beta_{c2} & -\beta_{c1} & 0 \end{bmatrix}.$$

С учетом независимости векторов η и $\bar{\mathbf{D}}$ ковариационная матрица вектора $\Delta\beta$ составит:

$$M[\Delta\beta\Delta\beta^T] = \mathbf{C}_0 M[\eta\eta^T] \mathbf{C}_0^T + \mathbf{P} M[\bar{\mathbf{D}}\bar{\mathbf{D}}^T] \mathbf{P}^T, \quad (7)$$

где $M[\bar{\mathbf{D}}\bar{\mathbf{D}}^T]$ – ковариационная матрица вектора $\bar{\mathbf{D}}$.

Проведя подстановку в (7) значения матрицы \mathbf{P} , ковариационной матрицы $M[\eta\eta^T]$ из формулы (6) и принимая в качестве дисперсий погрешностей d_1, d_2, d_3 величину d^2 , равную

$$d^2 = \max \{ M[d_1^2], M[d_2^2], M[d_3^2] \}$$

получаем значение ковариационной матрицы $M[\Delta\beta\Delta\beta^T]$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} M[\Delta\beta\Delta\beta^T] &= \\ &= \mathbf{C}_0 \sigma^2/2 (\mathbf{I}_{3 \times 3} - \beta\beta^T) \mathbf{C}_0^T + d^2 \mathbf{P}\mathbf{P}^T = \\ &= (\sigma^2/2 + d^2) (\mathbf{I}_{3 \times 3} - \beta_c\beta_c^T). \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, формула (8), определяющая значение ковариационной матрицы погрешностей измерения направляющего косинуса на звезду в ССК КА и учитывающая как погрешности АД, так и неточности установки ПСК АД в ССК КА, представляет искомую обобщенную статистическую модель погрешностей АД, позволяющую гарантированно оценивать погрешности измерения направления на звезды в ССК КА.

2. Математическая модель метода парных расстояний в задаче полетной юстировки астродатчиков системы ориентации космических аппаратов

В основе рассматриваемого метода оценки взаимного положения ПСК АД лежит метод парных расстояний, базирующийся на сравнении угловых расстояний между звездами, одновременно визируемыми АД, с эталонными расстояниями между этими же звездами, взятыми из бортового звездного каталога. При этом достаточно, чтобы каждый АД, в процессе определения ориентации КА измерял координаты только одной звезды. В качестве оцениваемого юстировочного параметра рассматривается матрица вращения \mathbf{A} , определяющая взаимное положение ПСК АД. Отметим, что в качестве оцениваемого юстировочного параметра, можно также рассматривать матрицу вращения, определяющую взаимное положение систем координат АД, связанных с корпусом КА, по-

скольку в предыдущем параграфе получены статистические модели АД, как для первого случая – формула (6), так и для второго случая – формула (8). Выбор юстировочного параметра определяется необходимостью повышения эффективности решения конкретной задачи. Например, для повышения надежности работы бортового алгоритма идентификации звезд, в качестве юстировочного параметра необходимо выбрать матрицу вращения A , определяющую взаимное положение ПСК АД.

Матрица вращения A связана с косинусом C_i^* угла между двумя звездами, определяемого по результатам измерений двух АД, с точностью до погрешностей измерения следующим соотношением:

$$\alpha_i^T A \beta_i \approx C_i^*, \quad (9)$$

где α_i, β_i – векторы направляющих косинусов звезд, измеренные первым и вторым АД; i, N – соответственно, порядковый номер и количество парных измерений звезд.

Векторы направляющих косинусов звезд с учетом погрешностей измерения составляют:

$$\begin{cases} \alpha_i = \dot{\alpha}_i + \Delta\alpha_i; \\ \beta_i = \dot{\beta}_i + \Delta\beta_i, \end{cases} \quad (10)$$

где $\dot{\alpha}_i, \dot{\beta}_i$ – истинные направляющие косинусы звезд; $\Delta\alpha_i, \Delta\beta_i$ – векторы нормально распределенных погрешностей измерения направлений на звезды.

Ковариационные матрицы векторов $\Delta\alpha_i$ и $\Delta\beta_i$ в соответствии с (6) составят:

$$\begin{cases} M[\Delta\alpha_i \Delta\alpha_i^T] = \frac{\sigma_1^2}{2} (\mathbf{I}_{3 \times 3} - \dot{\alpha}_i \dot{\alpha}_i^T); \\ M[\Delta\beta_i \Delta\beta_i^T] = \frac{\sigma_2^2}{2} (\mathbf{I}_{3 \times 3} - \dot{\beta}_i \dot{\beta}_i^T), \end{cases} \quad (11)$$

где σ_1, σ_2 – СКО погрешности измерения направления на звезду, соответственно для первого и второго АД.

Учитывая, что погрешность ΔC_i определения косинуса угла между парой звезд равна:

$$\Delta C_i = C_i - \alpha_i^T A \beta_i, \quad (12)$$

где C_i – косинус угла между визируемыми звездами, рассчитанный по данным бортового звездного каталога, подставляя (10) в (12) и пренебрегая величинами второго порядка малости, получаем погрешность косинуса угла ΔC_i в виде:

$$\Delta C_i = \Delta\alpha_i^T A \dot{\beta}_i + \dot{\alpha}_i^T A \Delta\beta_i \quad (13)$$

Из (13) следует, что погрешность ΔC_i имеет нормальный закон распределения, как сумма проекций нормально распределенных векторов $\Delta\alpha_i$ и $\Delta\beta_i$, умноженных на неслучайные коэффициенты, а математическое ожидание ΔC_i равно нулю.

Дисперсия D_i величины ΔC_i , вычисленная с учетом независимости векторов $\Delta\alpha_i, \Delta\beta_i$ с использованием формул (11) и (13), составит:

$$D_i = M[\Delta C_i^2] = \frac{1}{2} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) (1 - C_i^2). \quad (14)$$

Важно отметить, что полученное значение дисперсии в формуле (14) позволяет правильно взвешивать измерения, проводимые с помощью комбинирования пар различных оптико-электронных, радио и других приборов, имеющих разную приборную точность измерения направления на источники излучения и разные углы между последовательно визируемыми источниками в каждом акте измерения. Это открывает возможность полетной юстировки с использованием метода парных расстояний между ПСК различных датчиков (не только АД), умеющих измерять направление на некоторый источник энергии, например, юстировать взаимное положение датчиков Солнца, Земли и т.п.

Используя полученные результаты, оценим матрицу A на основе метода максимального правдоподобия, вычислительной схемой которого в данном случае является минимизация функционала:

$$F = \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} (C_i - \alpha_i^T A \beta_i)^2 \xrightarrow{A} \min. \quad (15)$$

Представим матрицу A через углы Крылова φ, θ, ψ в следующем виде:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Пусть $\varphi_0, \theta_0, \psi_0$ – углы Крылова, установленные на этапе предполетной подготовки, определяющие известную матрицу A_0 начальной взаимной ориентации ПСК АД. Принимая во внимание, что погрешности взаимной ориентации ПСК АД, выраженные в углах Крылова, не превышают одного градуса, для минимизации функционала (15) применим схему Гаусса, заключающуюся в составлении фундаментальной системы уравнений на основе линеаризации матрицы A в точке текущего приближения $\varphi_0, \theta_0, \psi_0$ и применении последовательных итераций для оценки углов Крылова φ, θ, ψ по формулам:

$$\begin{cases} \varphi_{j+1} = \varphi_j + \Delta\varphi_j; \\ \theta_{j+1} = \theta_j + \Delta\theta_j; \\ \psi_{j+1} = \psi_j + \Delta\psi_j, \end{cases}$$

где j – номер итерации.

Представляя поправки $\Delta\varphi_j$, $\Delta\theta_j$, $\Delta\psi_j$ в форме вектора $\Delta_j = [\Delta\varphi_j \ \Delta\theta_j \ \Delta\psi_j]^T$, получаем решение для вектора Δ_j в виде:

$$\Delta_j = (\mathbf{B}_j^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{B}_j)^{-1} \mathbf{B}_j^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{Z}_j, \quad (17)$$

где

$$\mathbf{B}_j = \begin{bmatrix} \alpha_1^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\varphi} \beta_1 + \alpha_1^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\theta} \beta_1 + \alpha_1^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\psi} \beta_1 \\ \alpha_2^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\varphi} \beta_2 + \alpha_2^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\theta} \beta_2 + \alpha_2^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\psi} \beta_2 \\ \vdots \\ \alpha_N^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\varphi} \beta_N + \alpha_N^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\theta} \beta_N + \alpha_N^T \frac{d\mathbf{A}_j}{d\psi} \beta_N \end{bmatrix}$$

– матрица размера $N \times 3$ коэффициентов линеаризованной фундаментальной системы на j -й итерации,

$$\mathbf{K}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/D_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/D_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1/D_N \end{bmatrix}$$

– диагональная матрица весов, размером $N \times N$;

$\mathbf{Z}_j = [z_1 \ z_2 \ z_3 \ \dots \ z_N]^T$ – вектор с компонентами

$z_i = \alpha_i^T \mathbf{A}_j \beta_i - C_i$; \mathbf{A}_j – значение матрицы \mathbf{A} на j -й итерации.

Точность получаемого решения оценивается \mathbf{K}_Δ – ковариационной матрицей оценки вектора углов Крылова φ, θ, ψ , вычисляемой по формуле:

$$\mathbf{K}_\Delta = \mathbf{M}[\Delta\Delta^T] = (\mathbf{B}^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{B})^{-1}, \quad (18)$$

где \mathbf{B} – матрица коэффициентов линеаризованной фундаментальной системы, определенная в (17), в конце итерационного процесса.

Представим \mathbf{A}_i – истинную матрицу взаимной ориентации ПСК АД – в виде:

$$\mathbf{A}_i = (\mathbf{I}_{3 \times 3} + \mathbf{E}) \mathbf{A}, \quad (19)$$

где \mathbf{A} – оценка матрицы \mathbf{A}_i , вычисленная в конце итерационного процесса по формуле (16),

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} 0 & \delta\varepsilon_3 & -\delta\varepsilon_2 \\ -\delta\varepsilon_3 & 0 & \delta\varepsilon_1 \\ -\delta\varepsilon_2 & -\delta\varepsilon_1 & 0 \end{bmatrix} \text{ – матрица поправок.}$$

Пусть вектор $\delta\bar{\varepsilon} = [\delta\varepsilon_1 \ \delta\varepsilon_2 \ \delta\varepsilon_3]^T$ составлен из поправок $\delta\varepsilon_1, \delta\varepsilon_2, \delta\varepsilon_3$. Примем в качестве интегральной характеристики точности взаимного положения АД – СКО погрешности оценки угла конечного поворота δ между ПСК первого и второго АД:

$$\delta = \sqrt{\text{Sp}(\mathbf{K}_E)}, \quad (20)$$

где $\text{Sp}(\mathbf{K}_E)$ – след ковариационной матрицы \mathbf{K}_E вектора $\delta\bar{\varepsilon}$.

Значение ковариационной матрицы \mathbf{K}_E может быть получено из матрицы \mathbf{K}_Δ путем сравнения матрицы погрешностей оценки взаимной ориентации, выраженной через матрицу поправок \mathbf{E} :

$$\delta\mathbf{A} = \mathbf{E}\mathbf{A} \quad (21)$$

с матрицей погрешностей оценки взаимной ориентации, выраженной через производные по углам Крылова:

$$\delta\mathbf{A} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial\mathbf{A}}{\partial\varphi_i} \delta\varphi_i, \quad (22)$$

где для углов φ, θ, ψ приняты обозначения: $\varphi_1 = \varphi, \varphi_2 = \theta, \varphi_3 = \psi$.

Сравнивая матрицы $\delta\mathbf{A}$ из выражений (21), (22) поэлементно и решая полученное уравнение относительно вектора $\delta\bar{\varepsilon}$, получаем [3, с. 72]:

$$\delta\bar{\varepsilon} = \mathbf{H}^{-1}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3) \delta\bar{\varphi}, \quad (23)$$

где вектор $\delta\bar{\varphi} = [\delta\varphi_1 \ \delta\varphi_2 \ \delta\varphi_3]^T$, а элементы матрицы $\mathbf{H}^{-1}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$ вычисляются по формуле

$$h_{ij}^{-1} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 \left(\frac{\partial\mathbf{A}_k}{\partial\varphi_j} \times \mathbf{A}_k \right)_i,$$

где \mathbf{A}_k – k -й столбец матрицы \mathbf{A} , \times – знак векторного произведения. Для принятого порядка поворотов, определяющих матрицу взаимной ориентации ПСК АД в виде (16), значение матрицы \mathbf{H}^{-1} вычисляется по следующей формуле:

$$\mathbf{H}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin\theta \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi\cos\theta \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi\cos\theta \end{bmatrix}. \quad (24)$$

С учетом (23) и (24) ковариационная матрица \mathbf{K}_E составит:

$$\mathbf{K}_E = \mathbf{H}^{-1} \mathbf{K}_\Delta (\mathbf{H}^{-1})^T.$$

Проверка полученного решения осуществлялась методом статистических испытаний на ЭВМ. В процессе испытаний оценивались углы Крылова, определяющие матрицу взаимной ориентации ПСК двух АД. В качестве обобщенного критерия оценки матрицы взаимной ориентации ПСК АД использовалось СКО погрешности оценки δ угла конечного поворота между ПСК первого и второго АД, при следующих, наиболее часто применяемых на практике, условиях: оптические оси АД расположены под углом 90° , угол поля зрения АД составляет $5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$; СКО погрешностей измерения направления на звезду первого и второго АД соответствовали $\delta_1 = \delta_2 = 10''$; количество парных измерений направлений на звезды равнялось 5, 10, 15, 20, 25, 30. Начальная неточность взаимной установки ПСК АД по каждому углу Крылова составляла 1° . Для каждой комбинации угла поля зрения АД и количества парных измере-

ний направлений на звезды генерировались 50 случайных, распределенных по равномерному закону внутри поля зрения АД, пар тестовых положений звезд с последующим вычислением усредненного значения δ .

На рис. 2 приведены графики усредненных значений СКО погрешности оценки угла конечного поворота δ по всем реализациям в зависимости от угла поля зрения и количества парных измерений направлений на звезды.

Приведенные данные статистических испытаний показывают, что для указанных диапазонов изменения угла поля зрения АД и количества парных измерений звезд, при прочих равных условиях, увеличение количества парных измерений звезд в 6 раз примерно во столько же раз увеличивает точность оценки угла конечного поворота между ПСК АД.

Существенное влияние на точность определения взаимной ориентации ПСК АД оказывает величина угла поля зрения АД, с уменьшением которой критерий δ возрастает примерно в обратную пропорциональную зависимости по отношению к изменению величины угла поля зрения АД.

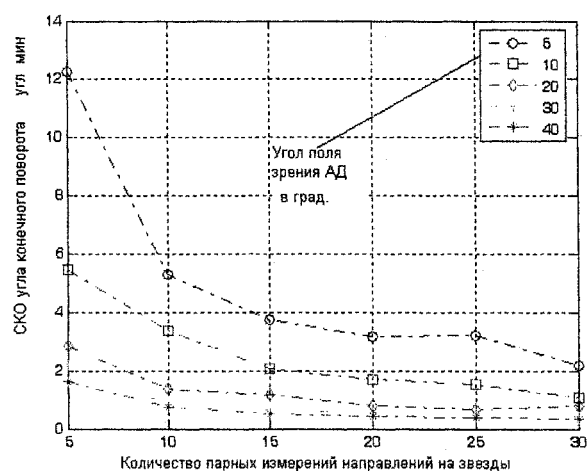


Рис. 2. Влияние количества парных измерений звезд и угла поля зрения АД на СКО погрешности оценки угла конечного поворота между ПСК АД

Как было отмечено ранее, полученные результаты полетной юстировки взаимного положения ПСК АД необходимы для качественной работы бортового алгоритма идентификации звезд, основанного на сравнении угловых расстояний между визируемыми звездами с эталонными данными из бортового звездного каталога. При этом важна точность определения значения косинуса угла между визируемыми звездами C_i^* в соответствии с формулой (9). Основываясь на полученных результатах, оценим влияние результатов полетной юстировки АД на точность определения C_i^* .

Погрешность S_i измерения C_i^* с точностью до малых величин второго порядка равна

$$S_i = \Delta_{1i} + \Delta_{2i},$$

где Δ_{1i} – составляющая погрешности, зависящая от погрешностей измерения астродатчиками направлений на пару звезд, с дисперсией

$$\sigma^2(\Delta_{1i}) = \frac{1}{2}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)(1 - C_i^2),$$

где Δ_{2i} – составляющая погрешности, зависящая от точности оценки матрицы \mathbf{A} , равная $\Delta_{2i} = (\mathbf{a}_i \times \mathbf{A}\mathbf{\beta}_i)^T \delta \bar{\mathbf{e}}$, с дисперсией, определяемой по формуле:

$$\sigma^2(\Delta_{2i}) = (\mathbf{a}_i \times \mathbf{A}\mathbf{\beta}_i)^T \mathbf{K}_E (\mathbf{a}_i \times \mathbf{A}\mathbf{\beta}_i). \quad (25)$$

Выражение (25) представляет квадратичную форму относительно единичного вектора $\mathbf{a}_i \times \mathbf{A}\mathbf{\beta}_i$, для которой справедливо неравенство

$$\text{Sp}(\mathbf{K}_E) = \sum_{i=1}^3 \lambda_i > \lambda_{\max} \geq (\mathbf{a}_i \times \mathbf{A}\mathbf{\beta}_i)^T \times \mathbf{K}_E (\mathbf{a}_i \times \mathbf{A}\mathbf{\beta}_i) \geq \lambda_{\min} > 0,$$

где λ_i – собственные значения матрицы ковариации \mathbf{K}_E ; $\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ – наименьшее и наибольшее собственные значения матрицы \mathbf{K}_E . Так как $\text{Sp}(\mathbf{K}_E) = \delta^2$, с учетом (25) получаем $\sigma^2(\Delta_{2i}) < \delta^2$.

Поскольку значение $\sigma(\Delta_{1i})$ на порядок меньше $\sigma(\Delta_{2i})$, для принятых условий ($\sigma_1 = \sigma_2 = 10''$, $C_i \approx 0$), то значение СКО погрешности оценки косинуса угла между визируемыми звездами σ_S подчиняется следующему ограничению:

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma^2(\Delta_{1i}) + \sigma^2(\Delta_{2i})} < \delta. \quad (26)$$

С учетом выражения (26) и значений СКО погрешности оценки δ угла конечного поворота между ПСК АД, взятых из рис. 2 при $N = 5$ и $N = 30$, следует, что полетная юстировка по 30 парным измерениям звезд в среднем от 3 до 6 раз уменьшает погрешность измерения угловых расстояний между звездами в рассматриваемом диапазоне углов поля зрения АД. Тем самым повышается надежность работы бортового алгоритма идентификации звезд, использующего в качестве классификационных признаков идентификации угловые расстояния между звездами.

Также отметим, что был рассмотрен еще один итерационный алгоритм оценки матрицы взаимной ориентации между ПСК АД, при параметризации матрицы взаимной ориентации в соответствии с формулой $\mathbf{A} = (\mathbf{I}_{3 \times 3} + \mathbf{E})\mathbf{A}_0$, где \mathbf{A}_0 – известная матрица начальной взаимной ориентации, обеспечиваемая на этапе предполетной юстировки, \mathbf{E} – матрица поправок, как представлено в (19). В этом случае итерационная процедура осуществлялась для вектора поправок $\delta \bar{\mathbf{e}}$, вычисляемого по формуле (17) с матрицей \mathbf{B} , строки которой составлены из векторных произведений $\mathbf{a}_i \times \mathbf{A}_0 \mathbf{\beta}_i$. При этом ковариационная матрица \mathbf{K}_E вектора

$\delta\bar{\epsilon}$ непосредственно вычислялась из формулы (18), а интегральная характеристика точности оценки взаимного положения АД – СКО погрешности угла конечного поворота между ПСК АД по формуле (20).

Исследования рассматриваемого алгоритма показали, что при вычислении оценки матрицы взаимной ориентации между ПСК АД необходимо осуществлять процедуру ее ортогонализации на каждом шаге итерационного процесса. Выполнение ортогонализации матрицы достаточно трудоемкая с вычислительной точки зрения операция, состоящая в поиске ортогональной матрицы V , ближайшей к вычисленной на очередной итерации матрице A .

Известно [4, с. 317], что если матрица A не особенная, то она представима в виде:

$$A = SV, \quad (27)$$

где $S = (AA^T)^{-1/2}$ – симметричная матрица, а V – ближайшая ортогональная матрица. Подставляя в (27) значение матрицы S , получаем формулу для вычисления ближайшей ортогональной матрицы в виде:

$$V = (AA^T)^{-1/2} A. \quad (28)$$

Процедура вычисления ближайшей ортогональной матрицы по формуле (28) трудоемка с вычислительной точки зрения, так как требует нахождения корня из матрицы. В данном случае эта трудоемкость непосредственно влияет на производительность работы алгоритма, так как ортогонализация выполняется многократно в течение итерационного процесса. С другой стороны, как показали численные эксперименты, в процессе итераций, допустимо иметь матрицу A , ортогональную с точностью до малых второго порядка. Поэтому предлагается использовать следующий алгоритм ортогонализации. Матрица A близка к ортогональной и для вычисления $(AA^T)^{-1/2}$ может быть предложен более простой с вычислительной точки зрения способ, чем извлечение корня из матрицы. Способ основан на том, что $(AA^T) \approx I_{3 \times 3}$ и матричная функция $(AA^T)^{-1/2}$ может быть с

достаточно высокой степенью точности представлена рядом Тейлора для функции $y = x^{-1/2}$:

$$x^{-1/2} = 1 - \frac{1}{2}(x-1) + \frac{3}{8}(x-1)^2 + \dots \quad (29)$$

Подставляя AA^T в (29) вместо переменной x и $I_{3 \times 3}$ вместо 1, получим:

$$(AA^T)^{-1/2} = I_{3 \times 3} - 0,5(AA^T - I_{3 \times 3}). \quad (30)$$

Подставив (30) в (28), получим ближайшую ортогональную матрицу в виде:

$$V = 1,5A - 0,5AA^T A. \quad (31)$$

Искомая матрица V , определенная (31), ортогональна с точностью до малых 2-го порядка, что в итоге и требовалось получить.

Что касается сравнения двух рассматриваемых алгоритмов оценки матрицы взаимной ориентации между ПСК АД, необходимо отметить более простую вычислительную схему алгоритма, оценивающего вектор поправок матрицы взаимной ориентации. Этот алгоритм не использует тригонометрических функций, в отличие от алгоритма оценки углов Крылова. Вычислительная точность обоих алгоритмов, как показали расчеты, одинакова, и все сделанные выше выводы по итогам статистических испытаний на ЭВМ справедливы и при использовании второго алгоритма определения матрицы взаимной ориентации между ПСК АД.

Литература

1. Bowers, E. J., Jr. Calibration of star-tracker bias errors on OAO / E. J. Bowers, Jr. // Proc. National Aerospace Electronics Conf., Dayton, Ohio, 1967. – P. 99–104.
2. Real time spacecraft attitude determination by star pattern recognition – Further results / T. E. Strikwerda et al. // 17th Aerospace sciences meeting, New Orleans, LA., 15–17 Jan. 1979.
3. Shuster, M. D. Tree-Axis Attitude Determination from Vector Observations / M. D. Shuster, S. D. Oh // Journal of Guidance and Control. – Vol. 4, № 1. – 1981. – P. 70–77.
4. Гантмахер, Ф. П. Теория матриц / Ф. П. Гантмахер. – М.: Наука. – 1966. – 576 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЗАДАЧАХ ВЫБОРА, УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В НЕОДНОРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Б.М. Кувшинов, А.Г. Кузнецов, В.И. Ширяев

Решение задач сравнительной оценки эффективности управления [7, 9, 13, 14] актуально при анализе результатов функционирования и поддержке принятия решений по управлению сложными техническими и экономическими объектами различной природы – это позволяет планировать распределение ресурсов между объектами и определять для них параметры оптимального управления.

К задачам такого рода относятся задачи выбора управления техническими объектами – когда рассматриваются различные варианты управляющих воздействий на объект [3]; на этапе проектирования технических объектов – задачи выбора наиболее эффективного решения [17], задачи сравнения готовых образцов на конкурсах для выбора наиболее эффективного [12] и т.п.

Среди экономических приложений можно указать на задачи сопоставления результатов деятельности различных экономических субъектов и их руководителей как на макроуровне [5]: для макроэкономических регионов, административных единиц в пределах регионов (районы, города), так и на уровне отдельных секторов экономики [1, 2, 6] – для конкурирующих производителей аналогичных товаров или услуг (при оценке инвестиционной привлекательности бизнеса, при оперативном планировании его развития).

Далее будет рассматриваться задача сравнительной оценки эффективности управления различными объектами, к которой можно свести также задачи выбора решений, сравнения их свойств и прогнозирования состояния системы по результатам реализации выбранных управлений.

Общее свойство таких задач – существенное различие условий, в которых находятся сравниваемые объекты, и разница в количестве используемых ресурсов. Как правило, сопоставление проводится на основе некоторого набора частных критериев, отражающих результаты управления объектами. Для этих критериев определяются правила согласования, выраженные в форме точечных или интервальных коэффициентов важности [11], норм замещения [10], структурных отношений предпочтения [4, 15] и т.п., что позволяет представить задачу сравнения в форме многокритериальной задачи оптимизации.

Однако во многих случаях ситуация осложняется тем, что отсутствует содержательная модель преобразования ресурсов и условий функционирования объектов в результаты их функционирования. Это может быть вызвано следующими причинами:

- неизвестен характер влияния различных факторов на результат управления объектами;
- недостаточно фактической информации для определения параметров содержательной модели;
- измеряемая информация о значениях параметров объектов является неточной и противоречивой.

В таких условиях используемые частные критерии не могут выступать в качестве характеристик эффективности управления – они отражают лишь результаты этого управления. Поэтому процедуры оценки эффективности и формирования рейтинга для объектов, действующих в разнородных условиях, нуждаются в дополнении механизмом «масштабирования», т.е. приведения их к единой системе измерений, инвариантной относительно, условий функционирования и количества доступных ресурсов.

По полученным оценкам эффективности можно будет провести сравнение объектов между собой. Целью такого сопоставления может быть:

- ранжирование совокупности объектов по эффективности управления (построение рейтинга по эффективности управления) т.е. частичное или полное упорядочивание всех рассматриваемых объектов в порядке убывания эффективности управления;
- прогнозирование достижимого состояния для объекта, либо оценка достижимости заданного состояния с учетом динамики изменения ресурсов управления, условий функционирования и эффективности управления объектом;
- оценка влияния на эффективность управления количества разных видов ресурсов и условий функционирования объекта и поддержка принятия решений по перераспределению ресурсов.

Данная работа продолжает исследования [1, 2, 8] и содержит один из возможных подходов к построению оценок эффективности.

1. Постановка задачи оценки эффективности

Рассмотрим ситуацию, когда для анализа доступна информация о функционировании множества однотипных объектов, результаты управления которыми определяются вектором частных критериев:

$$x_{ik} = (x_{ik1}, \dots, x_{ikL}), \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}, \quad (1)$$

где M – количество наблюдаемых объектов; L – количество частных критериев для оценки результатов функционирования объектов; T – количество временных периодов, на которых наблюдается поведение объектов.

При этом предполагается, что все объекты имеют разное количество ресурсов для управления и находятся в разных условиях:

$$(r_{ik}, s_{ik}) \in R^{N_r + N_s}, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}, \quad (2)$$

где $r_{ik} = (r_{ik1}, \dots, r_{ikN_r}) \in R^{N_r}$, $s_{ik} = (s_{ik1}, \dots, s_{ikN_s}) \in R^{N_s}$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ – вектора параметров, описывающих количество доступных для управления ресурсов и условия функционирования объектов, соответственно; N_r, N_s – размерности этих векторов.

Динамику движения каждого объекта можно представить в виде отображения, отражающего преобразование ресурсов и условий функционирования объектов в результат:

$$x_{ik+1} = F_i(x_{ik}, r_{ik}, s_{ik}), \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}. \quad (3)$$

Свойства отображений F_i , $i = \overline{1, M}$ определяются особенностями функционирования каждого объекта, его свойствами и принимаемыми управленческими решениями. Оценке подлежит эффективность управления, т.е. эффективность использования имеющегося количества ресурсов в сложившихся условиях при получении результатов управления:

$$e_{ik} = \Phi(x_{ik}, r_{ik}, s_{ik}), \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}, \quad (4)$$

где Φ – неизвестная функциональная зависимость, которая не может быть получена в аналитическом виде в силу перечисленных выше причин.

Таким образом, задача оценки эффективности сводится к аппроксимации функциональной зависимости Φ по информации вида (1), (2) о фактическом поведении совокупности однотипных объектов.

Для того, чтобы получить оценку эффективности управления i -м объектом в k -й момент времени, предлагается сравнивать две величины:

- фактический результат функционирования объекта, оценка которого является значением глобального критерия вида:

$$q_{ik} = a_1 x_{ik1} + \dots + a_L x_{ikL}, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}, \quad (5)$$

где $a_j > 0$, $a_1 + \dots + a_L = 1$, $a_j \in [a_{j\min}; a_{j\max}]$, $j = \overline{1, L}$ – весовые коэффициенты, определяющие значимость частных критериев;

- потенциальный результат, который мог быть достигнут с учетом имеющихся ресурсов управления и условий функционирования при нормальной эффективности управления:

$$p_{ik} = f(r_{ik}, s_{ik}), \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}.$$

Далее будем обозначать совокупность значений (r_{ik}, s_{ik}) , $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ через параметры состояния $c_{ik} = (c_{ik1}, \dots, c_{ikN}) \in R^N$, т.е. $p_{ik} = f(c_{ik})$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$.

По аналогии с оценками эффективности, для оценки потенциала объектов нужно аппроксимировать зависимость $p_{ik} = f(c_{ik})$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$

результатов управления от параметров состояния по доступным фактическим данным о совокупности объектов. При этом необходимо принять во внимание два соображения:

- объекты, располагающие близкими ресурсами и находящиеся в близких условиях, должны иметь близкие оценки потенциала;

- если результат управления данным объектом существенно отличается от результатов управления другими объектами, находившихся в близкой ситуации, то, возможно, не все условия его функционирования учтены – тогда оценка его потенциала может отличаться от оценок потенциала других объектов, находившихся в близких условиях.

С учетом указанных особенностей, для оценки потенциала объектов должна быть построена аппроксимация зависимости результатов q_{ik} , от параметров состояния c_{ik} , $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$. Если бы все объекты использовали единственный ресурс и находились в одинаковых условиях, а результат управления оценивался по единственному критерию, для решения этой задачи можно было бы воспользоваться стандартными процедурами аппроксимации. Полученная зависимость позволяла бы определить потенциал любого объекта по данным о его ресурсе (рис. 1).

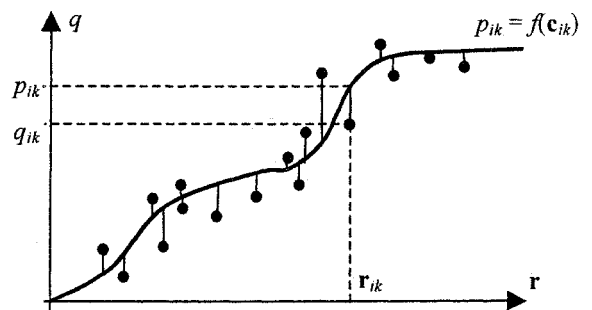


Рис. 1. Оценка потенциала объектов при использовании единственного ресурса

Практические задачи ранжирования предполагают использование неточной и неполной информации о сравниваемых объектах, что существенно усложняет решение задачи аппроксимации. В частности, можно указать следующие особенности задачи (рис. 2).

1. Интервальный характер оценок фактических результатов предполагает, что оценки потенциала объектов также представлены в виде интервалов $p_{ik} \in [p_{ik\min}, p_{ik\max}]$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$.

2. Ресурсы, доступные для управления каждым объектом, и условия их функционирования могут оцениваться неточно. Такая ситуация может возникнуть, например, при анализе работы конкурирующих предприятий, когда существенная часть параметров состояния является закрытой коммерческой информацией, а также при целенаправленном искажении и зашумлении информации в технических приложениях (информационное противодействие).

Таким образом, вектора частных критериев (1) и параметров состояния (2) известны лишь с точностью до некоторых множеств: $x_{ik} \in X_{ik}$, $r_{ik} \in R_{ik}$, $s_{ik} \in S_{ik}$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ и отображение (4) является множественно-множественным. Поэтому процедура оценки потенциала в ответ на множественные оценки X_{ik} , R_{ik} , S_{ik} , $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ должна породить целое семейство аппроксимаций $p_{ik} = f(c_{ik})$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$. Оно должно быть устойчиво к неопределенности исходной информации, т.е. для достаточно ограниченных множеств X_{ik} , R_{ik} , S_{ik} , $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$, порождать достаточно ограниченные интервальные оценки $p_{ik} \in H_{ik}$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$. Далее по этим оценкам можно получить интервальные оценки для эффективности управления, например в форме

$$e_{ik} = q_{ik} - f(c_{ik}), \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}.$$

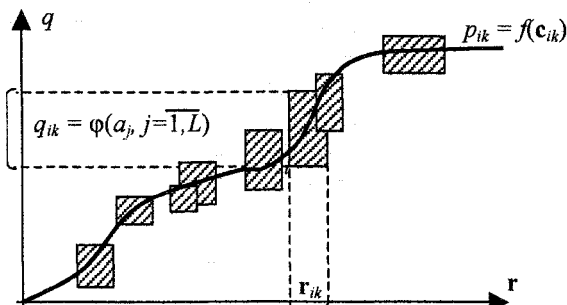


Рис. 2. Особенности постановки задачи оценки потенциала: интервальные оценки результатов и параметров состояния объектов

2. Использование адаптивной классификации для решения задачи оценки потенциала

2.1. Сведение к задаче адаптивной классификации

С учетом замечаний, сделанных в разделе 1, множество анализируемых объектов можно представить как совокупность

$$\{(c_{ik}, q_{ik}) \in R^{N+1}, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}\}$$

точек в многомерном пространстве параметров состояния и фактических результатов функционирования объектов, причем положение каждой точки может быть задано с ошибкой. Отметим, что неопределенность в значениях параметров состояния (2) можно интерпретировать как неопределенность в оценке фактических результатов (5). Т.е. от описания состояния объекта в форме

$$(c_{ik}, q_{ik}), \quad c_{ikj} \in [c_{ikj \min}; c_{ikj \max}];$$

$$q_{ik} \in [q_{ik \min}; q_{ik \max}], \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T},$$

где $j = \overline{1, \dots, N}$ – индекс координаты пространства параметров, по которой значение задано в виде интервала, можно перейти к описанию вида

$$(c_{ik}, q_{ik}), \quad q_{ik} \in [q_{ik \min}^*; q_{ik \max}^*], \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T},$$

где все координаты c_{ik} принимают конкретные значения, а $[q_{ik \min}^*; q_{ik \max}^*] \supset [q_{ik \min}; q_{ik \max}]$ – границы интервала для q_{ik} , расширенные с учетом возможной ошибки в выбранном значении c_{ikj} .

В таких условиях априорной информации может быть недостаточно для построения функциональной зависимости $p_{ik} = f(c_{ik})$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ в аналитическом виде, однако, эти данные можно использовать для того, чтобы выделить несколько ее линий уровня. Линия уровня для $p_{ik} = f(c_{ik})$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$:

$$d(q^k), \tag{6}$$

где q^k , $k \in \overline{1, K-1}$ – некоторые фиксированные значения для q , представляет собой геометрическое место точек, являющихся пересечением искомой функциональной зависимости с гиперплоскостью $q = q^k$ (верхний индекс – номер линии уровня).

На рис. 3, а, 4, а представлены геометрические образы таких линий для случаев $N=1$ и $N=2$, соответственно. На рис. 3, б, 4, б показаны проекции полученных наборов информации в N -мерное пространство параметров состояния (точки для $N=1$ и кривые для $N=2$). В общем случае линия уровня представляет собой гиперповерхность в N -мерном пространстве параметров состояния объектов.

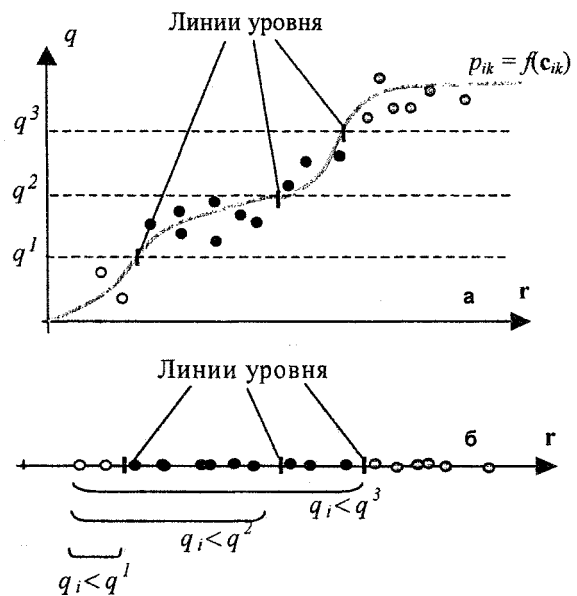


Рис. 3. Линии уровня функциональной зависимости $p_{ik} = f(c_{ik})$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ для случая $N=1$:

а – исходное представление, б – проекция в пространство параметров состояния

Таким образом, при выполнении указанной проекции, фактические результаты функционирования каждого объекта заменяются на информацию о том, ниже какой линии уровня находится этот результат. Такое упрощение исходной информации

позволяет применить методы распознавания образов для выполнения аппроксимации. Информация вида $\{(c_{ik}, C(q_{ik})), i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}\}$ представляет собой обучающую выборку, по которой можно решить стандартную задачу дискриминантного анализа. Полученные при этом решающие правила

$$D^j(c), j = \overline{1, K-1} \quad (7)$$

будут задавать правило отнесения любой точки $c \in R^N$ к одному из K классов. Таким образом, будут определены границы между подмножествами объектов, фактические результаты функционирования которых разделены линиями уровня.

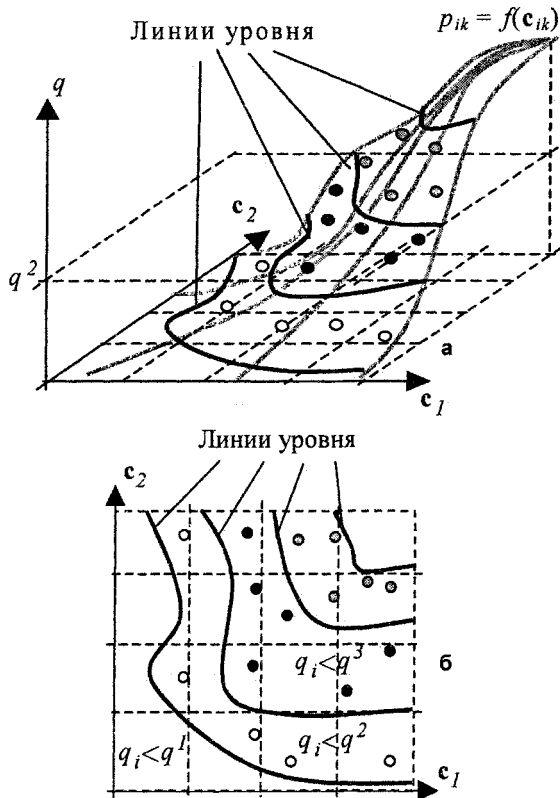


Рис. 4. Линии уровня функциональной зависимости $p_{ik} = f(c_{ik}), i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}$ для случая $N = 2$: а – исходное представление, б – проекция в пространство параметров состояния

При решении задачи аппроксимации использовать стандартные процедуры для построения решающих правил (7) не удастся – поскольку в задаче дискриминантного анализа решающие правила предполагаются корректными относительно обучающей выборки, т.е. для всех $c_{ik}, i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}$ класс объекта, задаваемый решающими правилами, будет совпадать с $C(q_{ik}), i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}$.

Рис. 5, а иллюстрирует ситуацию, когда это свойство решающих правил входит в противоречие с решением исходной задачи аппроксимации. Для объекта A в обучающей выборке будет задан

4-й класс, так как $q_A > q^3$ (см. рис. 5, а). Соответственно, линия уровня, отделяющая 3-й класс от 4-го, будет иметь положение, указанное на рис. 7, а как некорректное. При этом оценка потенциала всех объектов, имеющих ресурс в диапазоне $[r_n; r_k]$, окажется выше, чем q^3 , что не соответствует решению задачи аппроксимации зависимости $p_{ik} = f(c_{ik}), i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}$.

Если учесть перечисленные в разделе 1 особенности задачи (интервальный характер оценок), то задача построения решающих правил может вообще не иметь решения, так как налагаемые на ее решение ограничения будут несовместны (см. рис. 5, б).

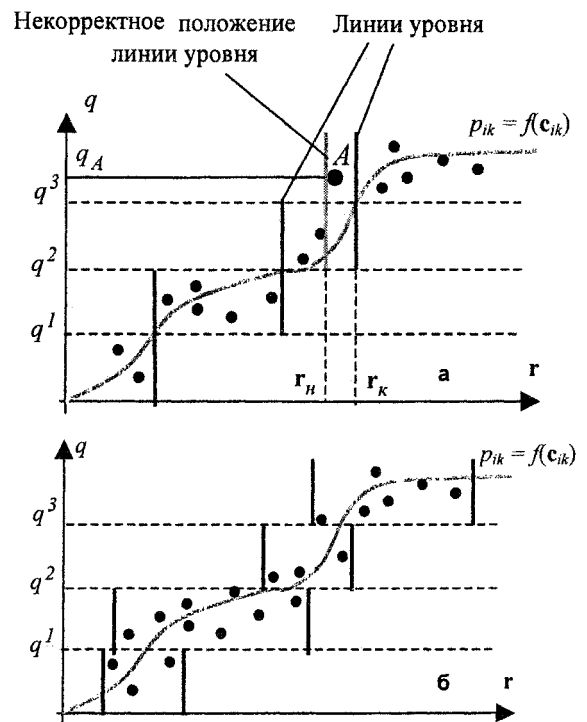


Рис. 5. Отличие исходной задачи аппроксимации зависимости $p_{ik} = f(c_{ik}), i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}$ от задачи дискриминантного анализа (для случая $N = 1$): а – единичное искажение, б – случай несовместных ограничений

Для того, чтобы использовать в этой ситуации аппарат распознавания образов при решении исходной задачи аппроксимации предлагается следующий выход: разрешить коррекцию информации обучающей выборки при построении решающего правила (7). Если при построении решающего правила возникает ситуация, проиллюстрированная на рис. 5, а, то данные $C(q_A)$ о классе объекта A должны быть приведены в соответствие с данными о параметрах состояния этого объекта c_A . С содержательной точки зрения такая коррекция означает переход от классификации объекта по фактическому результату управления к его классификации по потенциалу.

2.2. Адаптивная классификация с использованием комитетных решающих правил

Для аппроксимации линий уровня функциональной зависимости $p_{ik} = f(\mathbf{c}_{ik})$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ в соответствии с изложенной идеологией предлагается использовать кусочно-линейные (комитетные) решающие правила [8, 16]. При разделении объектов по значениям их параметров состояния на два класса $C(\mathbf{c}_{ik}) \in \{0, 1\}$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ комитетное решающее правило представляет собой множество векторов $\{y_1, \dots, y_Q\} \subset R^{N+1}$, которые в совокупности задают правило отнесения объектов к классам:

$$\begin{cases} C(\mathbf{c}) = 0, \text{ если } \sum_{j=1}^Q \text{sgn}[\langle \tilde{y}_j; \mathbf{c} \rangle - y_{j, N+1}] \leq Q/2; \\ C(\mathbf{c}) = 1, \text{ если } \sum_{j=1}^Q \text{sgn}[\langle \tilde{y}_j; \mathbf{c} \rangle - y_{j, N+1}] > Q/2, \end{cases} \quad (8)$$

где $\tilde{y}_j = (y_{j1}, \dots, y_{jN})$, $j = \overline{1, Q}$; $\text{sgn}(u) = 1$, если $u \geq 0$, $\text{sgn}(u) = 0$, если $u < 0$.

Для каждого классифицируемого объекта можно определить ранг, т.е. степень уверенности при отнесении его к тому или другому классу:

$$v(\mathbf{c}_{ik}) = \begin{cases} \sum_{j=1}^Q \text{sgn}(\langle \tilde{y}_j; \mathbf{c}_{ik} \rangle - y_{j, N+1}), \text{ если } C(\mathbf{c}_{ik}) = 0; \\ \sum_{j=1}^Q [1 - \text{sgn}(\langle \tilde{y}_j; \mathbf{c}_{ik} \rangle - y_{j, N+1})], \text{ если } C(\mathbf{c}_{ik}) = 1. \end{cases}$$

Разработан алгоритм построения комитетного решающего правила [1, 8], позволяющий максимизировать функционал согласованности априорного описания объектов по их рангам:

$$R = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^T v(\mathbf{c}_{ik}). \quad (9)$$

Согласование происходит за счет изменения информации о классах, к которым должны быть отнесены объекты обучающей выборки. В результате полученные решающие правила оказываются корректными относительно новой классификации объектов, соответствующей потенциальному результату. При определенных дополнительных ограничениях [8] решение задачи максимизации того же функционала согласованности (9) позволяет осуществить обратный переход – от класса потенциала объектов к конкретному числовому значению.

С учетом особенностей предлагаемого для решения задачи аппроксимации математического аппарата, процедуру оценки потенциала можно представить как последовательность преобразований исходной информации о совокупности анализируемых объектов.

1. Выбираются значения q^1, \dots, q^{K-1} для линий уровня (6) и исходная информация о состоя-

нии каждого объекта (\mathbf{c}_i, q_i) приводится к виду $\{(\mathbf{c}_{ik}, C(q_{ik})), i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}\}$.

2. С помощью комитетных решающих правил вида (8) аппроксимируются линии уровня функциональной зависимости $p_{ik} = f(\mathbf{c}_{ik})$, $i = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, T}$ без явного ее описания.

3. По значениям параметров состояния каждого объекта с помощью полученных решающих правил оценивается класс его потенциала.

4. С помощью процедуры максимизации функционала (9) по полученному классу определяется конкретное числовое значение потенциала.

3. Сопоставление оценок эффективности и использование результатов ранжирования

3.1. Ранжирование объектов

В простейшем случае, при использовании фиксированных значений важности критериев, результаты ранжирования могут быть наглядно представлены в координатах («потенциал»; «фактический результат») (рис. 6, а). Кривая на рис. 6 соответствует «нормальной» эффективности управления, усредненной по объектам, имеющим соответствующий уровень фактических результатов. Отклонение от этой кривой вверх и влево интерпретируется как повышенная эффективность управления (за счет более высоких фактических результатов, чем у других объектов, имеющих близкие ресурсы, либо за счет получения фактических результатов, характерных для объектов с более высоким потенциалом). Отклонение от кривой «нормальной» эффективности вниз и вправо отражает пониженную эффективность управления объектом. В верхней части рисунка для трех объектов показаны значения эффективности, полученные в результате сопоставления их фактических и потенциальных результатов.

Использование интервальных оценок для фактических и потенциальных результатов приводит к тому, что оценки эффективности представляются в виде интервалов (рис. 6, б). Следовательно, рейтинг в данном случае – это не строгое упорядочивание объектов по уровню эффективности управления, а лишь частичное упорядочение. Конкретное место объекта в рейтинге может меняться в достаточно широких пределах, в зависимости от того, какие значения важности различных частных критериев будут выбраны. В [1] рассмотрен ряд возможностей по использованию полученных интервальных оценок для оценки устойчивости рейтинга к изменению предпочтений по частным критериям и неопределенности в исходных данных.

3.2. Оценивание и прогнозирование состояния объекта

Уравнение движения (3) для управляемого объекта в линейном приближении имеет вид:

$$q_{ik+1} = A_k q_{ik} + B_{1k} r_{ik} + B_{2k} s_{ik} + w_{ik}, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}, \quad (10)$$

где w_{ik} – возмущения, действующие на i -й объект, а матрицы $A_k, B_{1k}, B_{2k}, k = \overline{1, T}$ – одинаковы для всех объектов, либо на соотношение значений соответствующих элементов этих матриц для разных объектов наложены известные ограничения. В составе возмущений можно выделить слагаемое, отражающее влияние изменяющейся во времени эффективности управления объектом:

$$w_{ik} = W(e_{ik}) + v_{ik}, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, T}. \quad (11)$$

Если ситуация, в которой находится объект, достаточно полно описана в рамках параметров состояния $r_{ik}, m_{ik}, i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}$, то можно ожидать выполнение соотношения $W(e_{ik}) \gg v_{ik}, i = \overline{1, M}, k = \overline{1, T}$.

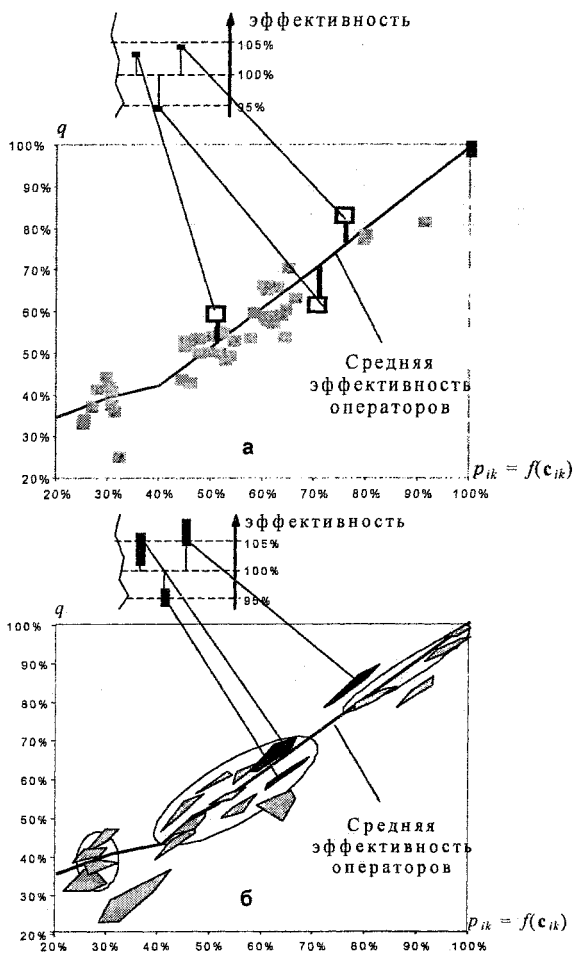


Рис. 6. Позиции объектов в координатах ("потенциал"; "фактический результат"): а – при фиксированной значимости критериев, б – при интервальных оценках значимости

Пусть теперь заданы ограничения на управляемые ресурсы $r_{ik}, i = \overline{1, M}$ и получен прогноз изменения условий среды $m_{ik}, i = \overline{1, M}$ на некотором прогнозном интервале времени $k = T+1, T+T_{\text{прогн}}$. Тогда идентификация параметров системы (10), (11),

содержащихся в матрицах A_k, B_{1k}, B_{2k} и в функционале $W(e_{ik})$ по интервалу времени $k = \overline{1, T}$ с известными оценками $q_{ik}, r_{ik}, m_{ik}, i = \overline{1, M}$ и построенными по ним, согласно (4), оценками $e_{ik}, i = \overline{1, M}$, позволяет спрогнозировать изменение фактических результатов q_{ik} (и, соответственно, эффективности управления объектом e_{ik}) на прогнозном интервале времени $k = T+1, T+T_{\text{прогн}}$. Таким образом, совместное использование процедур адаптивной классификации для оценки эффективности управления по известным фактическим результатам и параметрам состояния объектов, с одной стороны, и методов параметрической идентификации для системы (10), (11), с другой стороны, позволяет организовать прогнозирование траектории объекта в фазовом пространстве результатов его функционирования.

4. Пример использования подхода

Предложенный подход был использован для оценки деятельности региональных отделений операторов сотовой связи, действующих на территории Российской Федерации [1, 2]. Построение рейтинга в этом случае имеет две цели: сравнение инвестиционного потенциала предприятий, борющихся за потребителя на общем рынке, и анализ развития сети территориальных подразделений для одного предприятия на разных территориях.

По материалам официальной отчетности операторов были построены оценки эффективности управления для 50 региональных подразделений, действующих в 13 различных регионах. При этом для оценки ресурсов и условий работы операторов использовались 9 различных показателей, а результаты их работы оценивались по 3 частным критериям.

На рис. 7 показаны позиции ряда региональных отделений в рейтингах по фактическому результату, потенциальному результату и эффективности работы. Видно, например, что «Оператор 2.1» имеет высокий фактический результат и в традиционном экспертном рейтинге располагается в числе лидеров. Однако условия его работы также оцениваются как весьма благоприятные, поэтому в рейтинге по эффективности управления это предприятие занимает положение «средняка». «Оператор 3.1», напротив, в рейтинге по фактическим результатам работы находится в нижней части списка, однако низкая оценка его потенциальных возможностей в имеющихся условиях указывает на более высокую эффективность работы предприятия.

Выводы

Рассмотренный метод позволяет использовать информацию по уже состоявшемуся развитию нескольких однотипных объектов, действующих в различных условиях, для выявления общих закономерностей влияния условий среды и количества

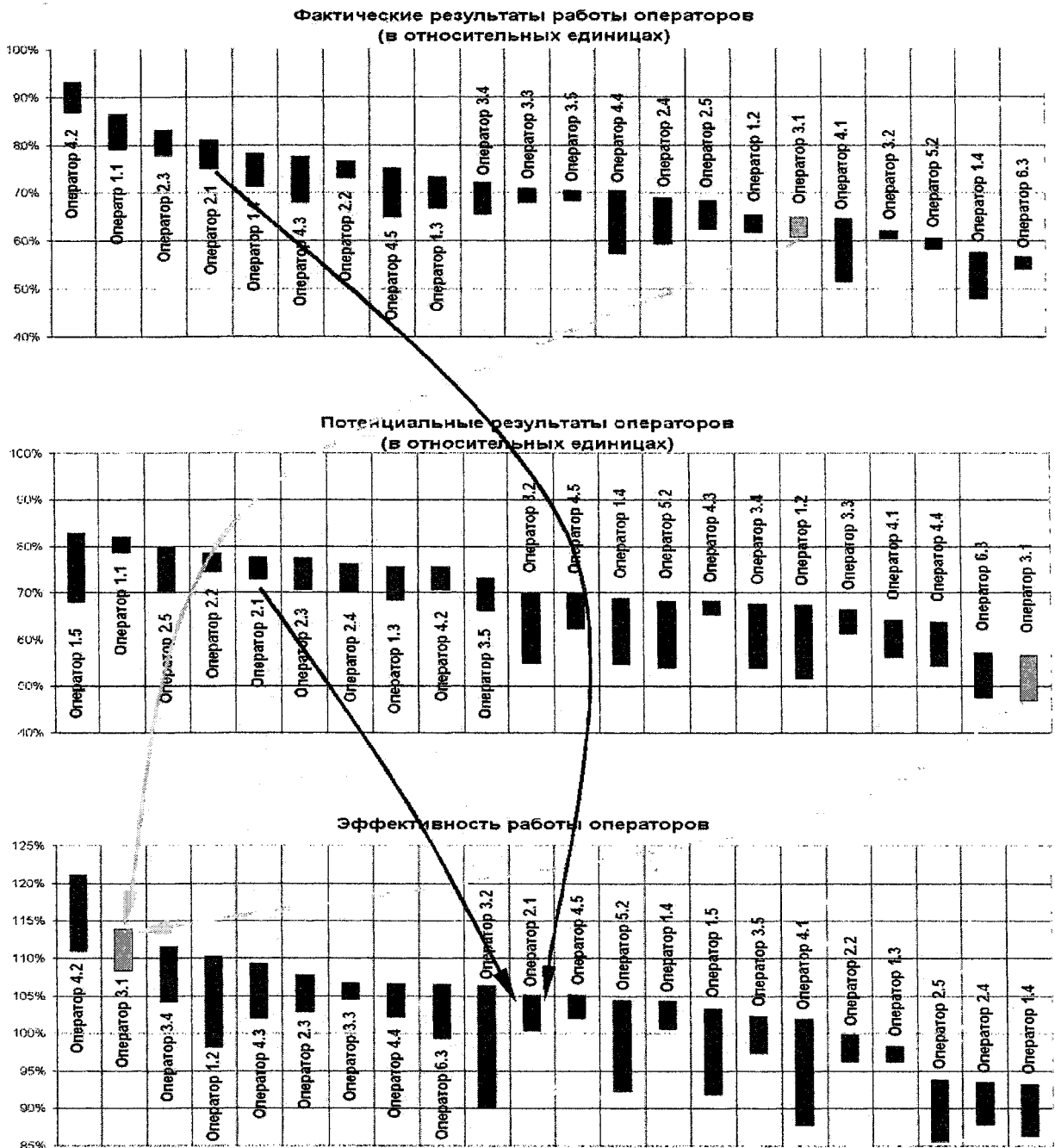


Рис. 7. Рейтинги предприятий – региональных подразделений конкурирующих операторов сотовой связи по фактическому, потенциальному результату и эффективности

доступных ресурсов на результаты их функционирования. При этом для каждого объекта строятся оценки потенциала, т.е. результата, который по заданной системе критериев может быть достигнут, при управлении объектом в указанных условиях и при наличии указанного количества ресурсов. Оценки имеют интервальный характер, поскольку процедуры их построения ориентированы на неточную и неполную информацию об условиях, ресурсах и результатах функционирования сравниваемых объектов, а также неопределенность в предпочтениях по частным критериям при оценке результатов управления.

Основная процедура, определяющей такие свойства рейтинга – это процедура адаптивной классификации. По сути она представляет собой метод аппроксимации многомерной функциональной зависимости, эффективный при использовании неточной и неполной информации о параметрах состояния и результатах управления объектами.

Полученные в результате сравнительные оценки эффективности могут использоваться для решения задач поддержки принятия решений при ранжировании, оценивании состояния, выборе и управлении сложными техническими и экономическими объектами различной природы.

Литература

1. Метод многокритериального ранжирования предприятий, действующих в разнородных условиях / А. Б. Блинов и др. // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2007. – № 4. – С. 27–39.
2. Блинов, А. Б. Оценка результатов и эффективности работы предприятий на региональных рынках (на примере операторов сотовой связи) / А. Б. Блинов, Б. М. Кушинов, В. И. Ширяев // Менеджмент в России и за рубежом. – 2006. – № 5. – С. 22–31.
3. Волин, Ю. М. Многокритериальная оптимизация технологических процессов в условиях неопределенности / Ю. М. Волин, Г. М. Островский // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 3. – С. 165–180.
4. Воронин, А. Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем / А. Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 3. – С. 84–99.
5. Дмитриев, М. Г. Многокритериальный подход к сравнению организаций и показателей общественной безопасности регионов / М. Г. Дмитриев, Ю. А. Моисеева // Социальные и математические средства измерения потенциала общественной безопасности в субъектах РФ. – М.: Ленанд, 2006. – С. 88–114.
6. Карминский, А. М. Рейтинги в экономике / А. М. Карминский, А. А. Пересецкий, А. Е. Петров. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 240 с.
7. Квейд, Э. Анализ сложных систем / Э. Квейд. – М.: Советское радио, 1969. – 520 с.
8. Использование комитетов в задачах распознавания образов с неточными экспертными оценками / Б. М. Кушинов и др. // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2002. – № 5. – С. 87–94.
9. Ларичев, О. И. Свойства методов принятия решений в многокритериальных задачах индивидуального выбора / О. И. Ларичев // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 2. – С. 146–158.
10. Меньшикова, О. Р. Отношения предпочтения с интервалами неопределенности замечений / О. Р. Меньшикова, В. В. Подиновский // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 6. – С. 157–165.
11. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2005. – 176 с.
12. Семенов, С. С. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники / С. С. Семенов, В. Н. Харчев, А. И. Иоффин. – М.: Радио и связь, 2004. – 559 с.
13. Смольяков, Э. Р. Обобщение понятия эффективности в многокритериальных динамических системах / Э. Р. Смольяков // Доклады АН. – 2007. – Т. 412, № 1. – С. 35–38.
14. Cho, K. T. Multicriteria Decision Methods: An Attempt to Evaluate and Unify / K. T. Cho // Mathematical and Computer Modeling. – 2003. – № 37. – P. 1099–1119.
15. Figueira, J. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure / J. Figueira, B. Roy // Europ. J. of Operational Research. – 2002. – № 139. – P. 317–326.
16. Khachai, M. Yu. Committee constructions for solving problems of selection, diagnostics, and prediction / M. Yu. Khachai, V. D. Mazurov, A. I. Rubin // Proc. of the Steklov Institute of Math. – 2002. – № 1. – P. 67–101.
17. Multicriteria Analysis Tools in Real-Life Problems / R. Statnikov et al. // Computers and Mathematics with Applications. – 2006. – № 52. – P. 1–32.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ АСФАЛЬТОВЫХ ДОРОГ

Д.А. Кацай, А.Н. Лысов, Д.В. Сергеев

Применение установки для поверхностной обработки придает асфальтовой дороге новое качество с точки зрения безопасности движения, а так же существенно продлевает её долговечность. В работу системы управления заложен принцип синхронного распределения материалов, сформулированный в работе [2], обобщающей опыт дорожников Франции по поверхностной обработке асфальтовых дорог.

1. Структура и принцип действия системы управления

На рисунке представлена структурная схема системы управления установкой, содержащая пульт управления оператора, вычислительное устройство, датчики и исполнительные устройства.

Основная задача, которая решается с помощью установки для поверхностной обработки асфальтовых дорог, состоит в дозировании материалов, регламентируемом в количественном выражении, в координатах относительно дороги и во временном диапазоне. В качестве материалов используют щебень фракции 5–20 мм и вяжущий материал в виде битума, нагретого до температуры 160 °С, или битумной эмульсии, нагретой до температуры 60 °С.

Корректировка расхода связующего материала, в зависимости от текущего значения скорости движения установки, осуществляется в прототипе с помощью аксиального насоса, который, в свою очередь, приводит в движение гидромотор, подающий связующий материал в форсунки. Наличие в системе двух контуров управления на гидравлических линиях приводит к большому постоянному времени в 1–1,5 с, что приводит к затягиванию переходного процесса в системе до 3–4,5 с. За это время установка может проехать от 3 до 13 м и оставить за собой некачественный участок дороги.

Указанные недостатки были устранены путем введения в сливную гидролинию дополнительного исполнительного устройства управления с астатическими свойствами относительно ошибки по давлению связующего материала, подаваемого через форсунки на поверхность асфальтовой дороги. Система управления защищена патентом РФ на полезную модель [3]. Предлагаемая система управления позволяет уменьшить на порядок значение постоянной времени и свести неравномерность наносимого покрытия до приемлемой величины.

2. Математическая модель объекта

В число переменных вектора состояния $x(t)$ включены: давление связующего материала в рампе – $x_1(t)$, давление масла в магистрали управления битумным насосом – $x_2(t)$, напряжение управления ДВС – $x_3(t)$, интеграл по ошибке давления в рампе относительно его расчетного значения – $x_4(t)$.

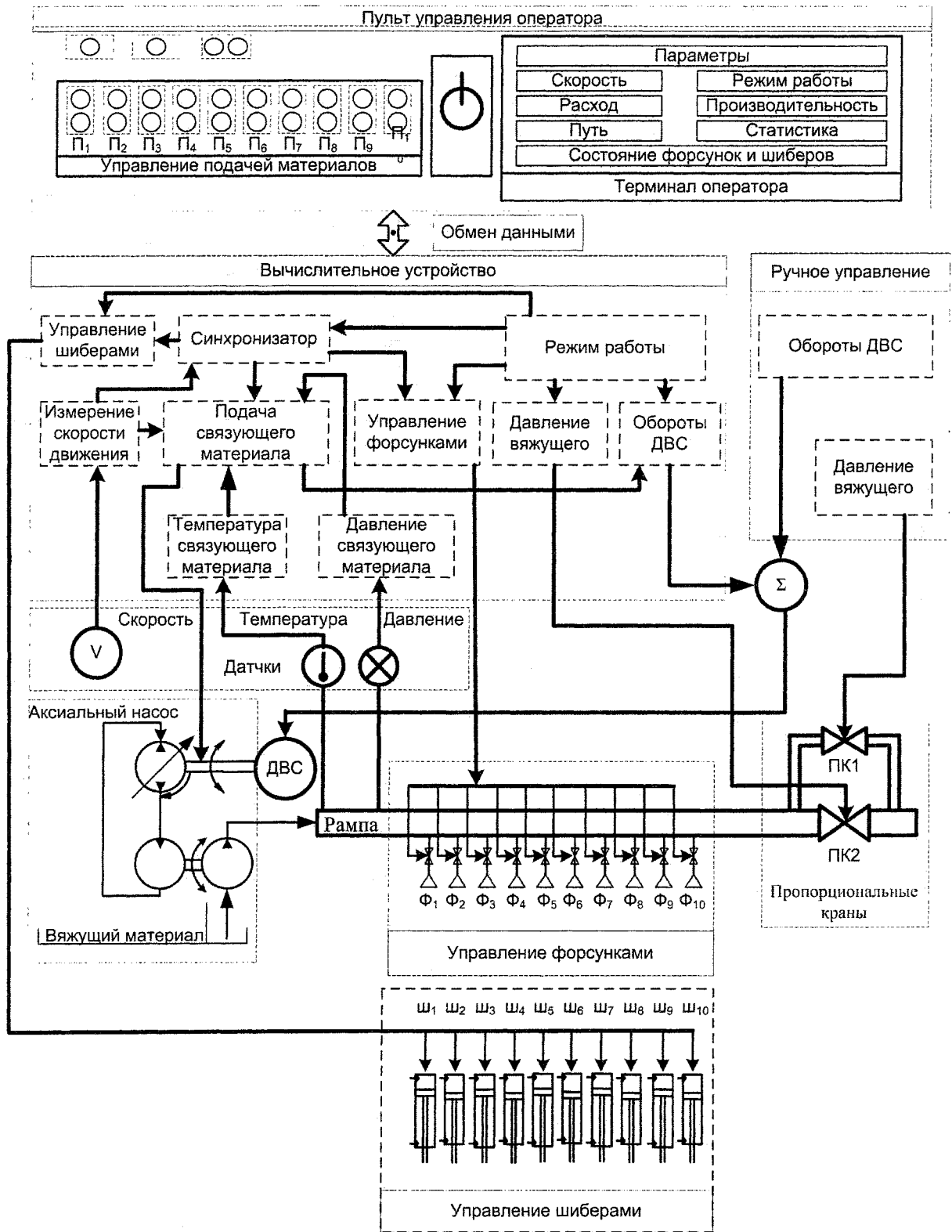
Ненулевые элементы матрицы состояния $A(t)$ записаны на основании экспериментальных данных и структуры объекта: $a_{1,1} = -1/T_1$; $a_{1,2} = x_{1n}/(x_{2n}T_1)$; $a_{2,2} = -1/T_2$; $a_{2,3} = x_{2n}/(x_{3n}T_2)$; $a_{3,1} = x_{3n}/(x_{1n}T_3)$; $a_{3,3} = -1/T_3$; $a_{3,4} = x_{3n}/(x_{4n}T_3)$; $a_{4,1} = x_{4n}/(x_{1n}T_4)$; $a_{4,4} = -1/T_4$, где T_1 – постоянная времени битумного насоса; T_2 – постоянная времени двигателя; T_3 – постоянная времени ДВС; T_4 – постоянная времени интегратора; x_{1n} – номинальное давление связующего материала в рампе; x_{2n} – номинальное давление масла в магистрали управления битумным насосом; x_{3n} – номинальное значение управляющего напряжения; x_{4n} – номинальное значение переменной состояния, уравнивающее номинальные значения других переменных.

Коэффициенту $a_{1,2}$ соответствует связь между выходом битумного насоса и рампой в виде напорной гидролинии. Коэффициенту $a_{2,3}$ соответствует прямая механическая связь между выходным валом ДВС и входным валом битумного насоса. Коэффициенту $a_{3,1}$ соответствует связь между давлением в рампе и управляющим напряжением. Коэффициенту $a_{3,4}$ соответствует связь между управляющим напряжением и интегралом от ошибки давления в рампе. Коэффициенту $a_{4,1}$ соответствует связь между интегралом от ошибки давления в рампе и давлением в рампе.

Ненулевые элементы матрицы управления B имеют следующий вид: $b_{1,2} = 1$; $b_{3,1} = 1$.

Управление $u(t)$ является векторной величиной, имеющей в качестве независимых компонент напряжения управления ДВС и пропорционального клапана в сливной гидролинии. Управление $u(t)$ можно представить в виде линейной комбинации переменных состояния: $u(t) = P \times x(t)$, где P – регулятор по состоянию; p_{ij} , ($i = 1, 2$; $j = 1 \dots 4$) – известные коэффициенты регулятора.

Реализация закона управления возможна в случае полной измеряемости вектора состояния или в случае полной наблюдаемости системы. Прямому измерению доступно значение первой компоненты вектора состояния $x_1(t)$, которая представляет собой давление связующего материала. Еще одна переменная $x_4(t)$ является внутренней переменной, ее



Структурная схема системы управления

значение формируется в вычислительном устройстве алгоритмически. В этой связи ненулевые элементы матрица наблюдения C принимают вид: $c_{1,1} = 1$.

Проверка ранга матрицы наблюдаемости по Калману дает значение ранга равное 4, совпадающим с порядком системы. Следовательно, по

имеющемуся вектору наблюдения можно восстановить весь вектор состояния системы управления.

Получение желаемых показателей динамического качества и устойчивости системы управления возможно, если система является полностью управляемой по Калману. Проверка ранга матрицы

управляемости дает значение ранга равное 4, совпадающее с порядком системы. Следовательно, система является полностью управляемой по Калману.

Проведенные оценки управляемости и наблюдаемости подтверждают принципиальную возможность построения системы управления с желаемыми динамическими характеристиками.

3. Модальный синтез

астатической системы управления

Рассматриваемая система имеет четвертый порядок, поэтому её динамические свойства можно задать с помощью четырех желаемых комплексно-сопряженных корней. Характеристическое уравнение с желаемыми корнями $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$:

$$(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)(\lambda - \lambda_3)(\lambda - \lambda_4) = 0.$$

Этому уравнению можно поставить в соответствие вектор коэффициентов $v_{\lambda G}(\lambda_G)$, компоненты которого являются функциями желаемых корней.

Для настройки коэффициентов регулятора p_{ij} , ($i = 1, 2; j = 1 \dots 4$) необходимо составить характеристическое уравнение системы управления с замкнутым контуром обратной связи:

$$|\lambda E - (A - B \times P)| = 0,$$

где E – единичная матрица четвертого порядка.

После подстановки параметров матриц E, A, B и P получается вектор коэффициентов $v_{\lambda P}(P)$ характеристического уравнения с неизвестными коэффициентами матрицы регулятора P , которые получить из решения системы алгебраических уравнений:

$$v_{\lambda P}(P) = v_{\lambda G}(\lambda_G).$$

4. Модель системы управления с фильтром Калмана

На основе линейной модели системы управления строится расширенная модель, включающая в себя фильтр Калмана, как динамическую систему.

Уравнения состояния расширенной системы в векторно-матричной форме [1]:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A \times \hat{x} + B \times (u + f + v); \\ y = C \times \hat{x}; \\ \dot{\hat{x}} = (A - K \times C) \times \hat{x} + K \times y + B \times u; \\ u = -P \times \hat{x}, \end{cases}$$

где \hat{x} – вектор состояния фильтра Калмана; v – вектор случайного возмущения; w – вектор измерительного шума; f – задающее воздействие.

Векторы случайного возмущения v и измерительного шума w в данной модели представляют собой случайные процессы с нормальным законом распределения и имеют следующие дисперсии:

$Dv = (0,5Pn)^2$ – дисперсия входного возмущения, $Dw = (0,1Pn)^2$ – дисперсия измерительного шума, где Pn – номинальное давление в рампе. Данные соотношения были получены на основании до- рожных испытаний опытной установки.

Коэффициенты фильтра Калмана K находятся с помощью матричного уравнения Рикатти.

Для формирования ошибки по давлению в рампе сформировано задающее воздействие в виде функции от требуемого расхода вяжущего материала и скорости движения установки по экспериментальным данным. Наилучшее приближение по минимуму среднеквадратической ошибки экспериментальных значений дает следующая функция скорости требуемого движения установки от двух переменных:

$$V(p, q) = a_0 + a_1 q + a_2 p + b/q^2,$$

где p – давление связующего материала в рампе; q – требуемый расход связующего на единицу площади поверхности дороги; $a_0 = -45,9$; $a_1 = -29,7$; $a_2 = 66,4$; $b = 9,2$ – постоянные коэффициенты.

Эффективность работы фильтра оценивается через коэффициент вариации, который определяется как отношение величины среднего квадратического отклонения (СКО) к математическому ожиданию.

Выводы

Для процесса регулирования давления относительно номинального значения, равного 3 Бар, без фильтра Калмана, величина СКО составляет 0,2 Бар, следовательно, коэффициент вариации равен 6,7 %. Для случая регулировки давления с фильтром Калмана, величина СКО составляет 0,09 Бар, следовательно, коэффициент вариации равен 3 %. Отношение коэффициентов вариации дает значение 2,2 в пользу фильтра Калмана.

Литература

1. Буков, В. Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем / В. Н. Буков. – Калуга: Издательство научной литературы Н.Ф.Бочкаревой, 2006. – 720 с.
2. Васильев, А. П. Поверхностная обработка с синхронным распределением материалов / А. П. Васильев, П. Шамбар. – М.: Трансдорнаука, 1999. – 80 с.
3. Пат. 60236 РФ, МПК⁷ G05D 7/00, E01C 23/03. Система управления битумощебнераспределителя / Д. А. Кацай, Д. В. Сергеев. – № 2006113805/22 ; заявлено 25.04.2006 ; опубл. 10.01.2007.

АЛГОРИТМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОМ РЕЖИМОМ ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Е.А. Алешин

Взаимодействие теплового режима жилого здания с окружающей средой можно рассмотреть как взаимодействия двух подсистем: подсистемы «внешняя среда» (наружная температура, скорость и направление ветра, солнечная радиация) и подсистемы «тепловой режим здания» [1].

На входе подсистемы «тепловой режим здания» наряду с управляемыми входными параметрами (расход теплоносителя, интегрированная температура помещений, температура в обратном трубопроводе) присутствуют и неуправляемые параметры (внутренние тепловыделения, потери тепла через ограждающие конструкции, теплота, затраченная на подогрев вентиляционного воздуха и др.), которые являются случайными. Управление тепловым режимом здания в таких условиях неопределенности является сложной задачей. Одним из вариантов решения данной проблемы является разработка оптимальной стратегии управления тепловым режимом здания, которая пригодна для большинства ситуаций. Задача нахождения такой оптимальной стратегии формализована и решается с применением аппарата теории игр [2].

1. Задача нахождения оптимальной стратегии управления тепловым режимом здания в условиях неопределенности

Алгоритм энергосберегающего управления тепловым режимом здания в условиях неопределенности и структурная схема функционирования энергосберегающей автоматизированной системы разработаны на основе методов теории игр. Эффективность управления системой теплотребления в условиях неопределенности определяется по критерию:

$$J_{ij}^* = \max_{\bar{u} \in U} M \left\{ J_{ij} \left(\mu(\bar{u}_i), \bar{x}_j \right) \right\}, \quad (1)$$

где U – множество допустимых значений управляемых параметров системы теплотребления при фиксированном векторе параметров внешней среды \bar{x}_j ; M – символ математического ожидания.

У подсистем «внешняя среда – теплотребление» в каждой текущей ситуации имеется возможность принять одно из многих конечных состояний S_X и S_T соответственно. Благодаря этому каждую текущую ситуацию задаем прямоугольной матрицей A размера $n \times m$, где n – число стратегий (состояний) подсистемы «внешней среды» S_X , m – число стратегий подсистемы параметров S_T . В матрице A существует элемент ω , являющийся седловым при использовании страте-

гий S_X^j и S_T^i . Смешанную стратегию «внешней среды» S_X описываем n -мерным вектором $S_X = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$, где γ_j – вероятность использования чистой стратегии S_X^j . Смешанную стратегию подсистемы S_T^i задаем m -мерным вектором $S_T = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m)$, где η_i – вероятность использования чистой стратегии S_T^i (использование при текущем векторе «внешней среды» \bar{x} i -й модели теплового режима здания).

Матрица оценок $\|J_{ij}\|$ оптимальных эффективностей управления СТП (системой теплотребления) при использовании моделей μ_i и j -го вектора «внешней среды» \bar{x}_j в текущих ситуациях СТП формируется при условии, что

$$\exists U_i: J_{ij} \left\{ \mu_i(\bar{u}_i), \bar{x}_j \right\} \in D_j, \quad (2)$$

где D_j – область качества управления СТП при использовании модели μ_i .

Действие неконтролируемых возмущений вызывает необходимость уточнения значений матрицы $\|J_{ij}\|$. Для этого определяются такие значения параметров \bar{U}_i^* , при которых выполняется условие

$$\tilde{J}_{ij}^* \left\{ \mu_i(\bar{u}_i^*), \bar{x}_j \right\} = \max_{\bar{u}_i \in U, \bar{x}_j \in X} J_{ij} \left\{ \mu_i(\bar{u}_i), \bar{x}_j \right\}, \quad (3)$$

где \tilde{J}_{ij}^* – уточненное значение элементов J_{ij}^* с учетом действия неконтролируемых возмущений.

Векторы S_X^* и S_T^* являются оптимальными стратегиями при условиях:

$$\sum_{i=1}^m \eta_i = 1, \quad \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \quad \varphi(S_X^*, S_T^*) \geq \omega \geq \varphi(S_X, S_T^*), \\ S_T^* \geq 0, S_X \geq 0.$$

Совокупность $\{S_X^*, S_T^*, \omega\}$ является решением задачи оптимизации «внешняя среда – СТП» в условиях случайного изменения вектора «внешней среды» \bar{x}_j , точка $\varphi\{S_X^*, S_T^*\}$ подчиняется цепочке неравенств:

$$\varphi(S_X^*, S_T^*) \geq \varphi(S_X^*, S_T^*) \geq \varphi(S_X, S_T^*)$$

и является седловой точкой функции

$$\varphi(S_X, S_T) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n J_{ij} \eta_i \gamma_j \quad (4)$$

при условии (13), а ω – значение этой функции в седловой точке.

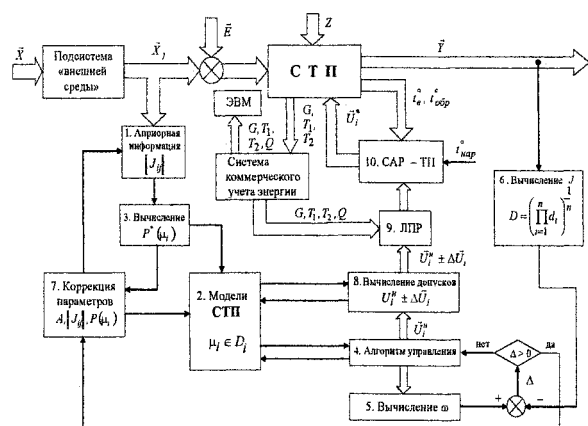
Определяем смешанные (оптимальных) стратегий S_X и S_T , при которых гарантированное значение эффективности управления СТП

$$\omega^* = \sup_{\gamma} \inf_{\eta} \varphi(S_X, S_T) = \inf_{\eta} \sup_{\gamma} \varphi(S_X, S_T).$$

В текущих ситуациях СТП смешанная стратегия подсистемы «внешняя среда» известна, а подсистема «режим СТП» минимизирует средние потери и реализует чистую стратегию $S_T = U$.

2. Разработка структуры энергосберегающего управления системой теплотребления здания в условиях неопределенности

Алгоритмическая структура функционирования энергосберегающей АСУ ТП здания в условиях неопределенности (см. рисунок) предусматривает взаимосвязь между подсистемами – «внешняя среда» – «СТП» – «система коммерческого учета» – «АСУ – ТП» (автоматизированная система управления теплотреблением) – ЛПР (лицо, принимающее решение) и представляет интерактивную систему управления.



Структура энергосберегающего управления системой теплотребления здания в условиях неопределенности

Гарантированное значение эффективности управления процессом теплотребления в условиях неопределенности определяется на основе применения аппарата теории игр.

В терминах теории игр задача формулируется следующим образом: в игре участвуют две подсистемы – подсистема «внешняя среда» (партнер С) и подсистема теплотребления (партнер К). В подсистеме теплотребления может быть выбран любой (в пределах ограничений на эффективность управления тепловым режимом) режим управления (стратегии К); в подсистеме «внешняя среда» – любое (из возможных) сочетание метеопараметров (партнер С). Каждой комбинации стратегий К и С отвечает определенное значение выходного параметра процесса управления y_{ij} , который вы-

ступает в роли параметра оптимизации. Ограничим число возможных вариантов К и С в пределах плана эксперимента, которые могут принимать подсистемы внешней среды и теплового режима здания, конечными числами n и m соответственно. В случае, когда n и m достаточно большие числа, такое квантование вполне соответствует реальным условиям управления тепловым режимом.

В результате приходим к парной игре $n \times m$. Так как y_{ij} ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$) известны для любого сочетания K_i и C_j , то игра полностью определена. Решением (за подсистему К) является смешанная стратегия, которая при многократном повторении обеспечивает наилучшее среднее значение параметра оптимизации.

Описанный подход использован для оптимизации управления тепловым режимом здания. Параметром оптимизации служила обобщенная функция желательности [3]. В качестве стратегий К рассмотрены 4 режима регулирования расхода воды (от 2 до 3,5 м³/ч), в качестве стратегий С – 84 вариантов возможных сочетаний параметров внешней среды X. Таким образом, матрица игры имела размер 4×84.

Оптимальная стратегия находилась методом итераций. Решением данной игры является активная стратегия $K_4 = 3,5$ м³/ч. При этом цена игры равна $D^* = 0,617$. Таким образом, при любых сочетаниях параметров внешней среды (в пределах экспериментальных значений), эффективность управления тепловым режимом здания будет не ниже 0,617, что соответствует хорошему качеству теплового режима по шкале критерия оптимальности в виде функции желательности.

Заключение

Рассмотренный метод применяется для абонентских тепловых пунктов зданий, оснащенных теплосчетчиками, но не оснащенных средствами автоматизации, и позволяет научно обоснованно устанавливать расход сетевой воды в системе отопления.

Литература

1. Глухов, В. Н. Энергосберегающая система автоматического регулирования теплового режима в зданиях / В. Н. Глухов, Е. А. Алешин // Системы управления и информационные технологии. – Воронеж: ВГТУ, 1998. – С. 190–197.
2. Глухов, В. Н. Оптимизация управления тепловым режимом здания в условиях неопределенности / В. Н. Глухов, Е. А. Алешин // Информационно-измерительные и управляющие системы и устройства. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. – С. 29–33.
3. Алешин, Е. А. Применение вероятностно-статистического подхода для идентификации теплового режима здания / Е. А. Алешин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2003. – № 4(20). – С. 115–121.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Ю.Н. Денисенко, В.И. Панферов

Основным этапом в обеспечении удовлетворительной тепловой нагрузкой абонентов системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) является разработка графиков количественно-качественного регулирования, определяющих работу средств автоматизации во всех звеньях СЦТ. Решение настоящей задачи с использованием стандартных [1] структур математических моделей имеет существенное различие с наблюдениями эксплуатационных режимов.

Для указанной проблемы были разработаны и идентифицированы соответствующие математические модели, внедрение которых в процесс разработки графиков регулирования позволяет конкретизировать последние для практического использования, как при централизованном, так и децентрализованном теплоснабжении.

1. Разработка структур математических моделей отопительного прибора

Известно [1], что текущая мощность отопительной установки (ОУ) может быть вычислена по уравнениям:

$$\begin{aligned} Q_o &= \varepsilon_o c G_o (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}); \\ Q_o &= c G_o (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}), \end{aligned} \quad (1)$$

где ε_o – коэффициент эффективности ОУ; c и G_o – теплоемкость и массовый расход теплоносителя; $t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ – температура на входе и выходе из ОУ; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении.

В рекуперативных теплообменных аппаратах коэффициент эффективности определяется соотношением [1]:

$$\varepsilon = \left(1 - e^{-\frac{kF}{cG_1} \left[\frac{cG_1}{cG_2} - 1 \right]} \right) / \left(1 - \frac{cG_1}{cG_2} e^{-\frac{kF}{cG_1} \left[\frac{cG_1}{cG_2} - 1 \right]} \right), \quad (2)$$

где k и F – коэффициент теплопередачи и площадь поверхности нагревательного прибора.

При рассмотрении ОУ первый эквивалент расхода cG_1 заменим на cG_o , второй cG_2 на эквивалент расхода омывающего нагревательный прибор воздуха $cG_{\text{в}}$, который во много раз больше эквивалента расхода воды, протекающей через приборы. Тогда уравнение (2) примет вид:

$$\varepsilon_o = 1 - \exp(-kF / cG_o). \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (1) и (3) позволяет найти температуру теплоносителя:

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{в}} + (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}) \exp(-kF / cG_o). \quad (4)$$

Следуя [2], также же для построения математической модели отопительного прибора можно выде-

лить бесконечно малый участок площади его поверхности и записать уравнение теплового баланса для этого участка, то соответственно будем иметь:

$$-cG_o dt = k(t - t_{\text{в}}) dF, \quad (5)$$

где t – температура теплоносителя в пределах участка dF .

Если считать коэффициент теплопередачи постоянным, то уравнение (5) будет представлять собой уравнение с разделяющимися переменными, решая которое, с учетом того, что $t(0) = t_{\text{вх}}$, придем к тому же уравнению (4), описывающему изменение температуры теплоносителя вдоль поверхности теплообмена F .

Определить коэффициент теплопередачи при изменении среднего значения температурного напора и расхода можно посредством известной зависимости [3]:

$$k = m \Delta t^n \bar{G}_{\text{отн}}^p, \quad (6)$$

где m , n и p – эмпирические числовые показатели; Δt – текущий температурный напор; $\bar{G}_{\text{отн}}^p$ – относительный расход воды. Подставив которую в (5), после интегрирования получим

$$cG_o \Delta t^{-n} / n = m \bar{G}_{\text{отн}}^p F + C, \quad (7)$$

где C – постоянная интегрирования, которая из условия, что $\Delta t = t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}$ при $F = 0$ равна:

$$C = cG_o (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}})^{-n} / n. \quad (8)$$

После преобразований, выражение для определения температурного напора отопительного прибора окончательно примет вид:

$$\Delta t = t - t_{\text{в}} = \left(\frac{mn}{cG_o} \bar{G}^p F + (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}})^{-n} \right)^{-1/n}, \quad (9)$$

из которого найдем распределение температуры теплоносителя по площади поверхности F :

$$t(F) = t_{\text{в}} + \left(\frac{mn}{cG_o} \bar{G}^p F + (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}})^{-n} \right)^{-1/n}. \quad (10)$$

На рис. 1 приведены зависимости распределения температуры теплоносителя вдоль поверхности теплообмена отопительного прибора, построенные по формулам (4) – кривая 1 и (10) – кривая 2. Зависимости построены для чугунного радиатора МС 140-108, имеющего 10 секций, для расхода 0,01 кг/с и температуры воздуха в помещении 20 °С.

Как видно из рис. 1, с увеличением поверхности отопительного прибора различие значений температуры теплоносителя, увеличивается. Так, например, для 10-секционного отопительного прибора эта величина будет равна 0,3 °С, что является достаточно малой величиной. Таким образом, из вышеприведен-

ного следует, что формулы дают практически одинаковые распределения температуры вдоль поверхности теплообмена. Различие становится существенным только при больших значениях F и малых значениях расхода теплоносителя.

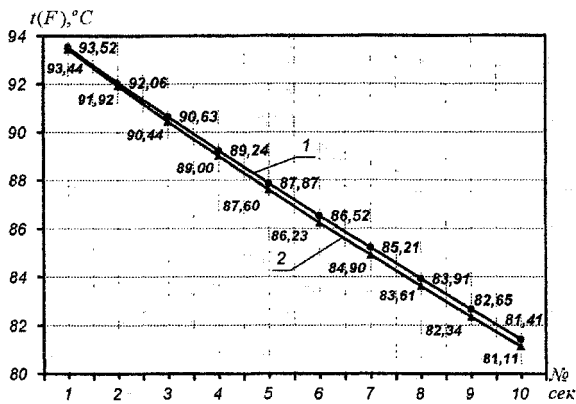


Рис. 1. Зависимости распределения температуры теплоносителя вдоль площади поверхности отопительного прибора

При построении кривой 1 коэффициент теплопередачи определялся по формуле (6) при температурном напоре $\Delta t = 0,5(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) - t_{\text{в}} = 0,5(95 + 70) - 20 = 62,5$ °C и параметрах m , n и p , взятых из [4]; величина k составила $3,431$ Вт/(м²·°C).

Хорошо известно [3, 5], что при $\Delta t = 62,5$ °C действительное значение k находится в диапазоне от 8 до 11 Вт/(м²·°C), что обусловлено количеством секций и величиной массового расхода.

Если использовать указанные значения коэффициента теплопередачи, то получим следующие графики распределения температуры теплоносителя вдоль F (см. рис. 2). Эти графики построены по формуле (4).

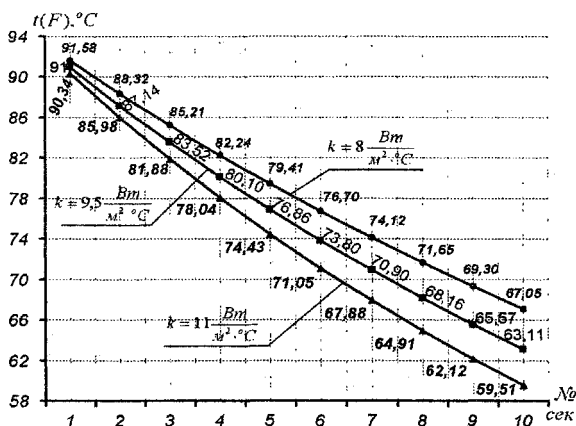


Рис. 2. Зависимости $t(F)$ при действительных значения коэффициента теплопередачи

Обычно в литературе неявно считается, что зависимость температуры теплоносителя от F является линейной. Действительно, среднее значение температурного напора принято находить по формуле:

$$\Delta \bar{t} = 0,5(t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}) - t_{\text{в}}, \quad (11)$$

которая будет давать точное значение среднего температурного напора только в том случае, если температура теплоносителя вдоль F будет распределяться по прямой и будет при этом знакопостоянной функцией [6].

В работе [6] показано, что фактическое температурное поле на поверхности нагревательного прибора зависит от ряда факторов, и как видно из рис. 1, 2, не описывается линейными зависимостями. Как известно, среднее значение температурного напора на отрезке от 0 до F определяется по формуле:

$$\Delta \bar{t} = \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t dF = \frac{1}{F} \int_0^F (t - t_{\text{в}}) dF. \quad (12)$$

Подставив поочередно уравнения (4) и (10) в соотношение (12), получим:

$$\Delta \bar{t} = \frac{1}{F} \int_0^F [(t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}) \exp(-kF / cG_0)] dF; \quad (13)$$

$$\Delta \bar{t} = \frac{1}{F} \int_0^F \left[\left(\frac{mn}{cG_0} \bar{G}^p F + (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}})^{-n} \right)^{-1/n} \right] dF. \quad (14)$$

Интегрируя уравнения (13) и (14) и преобразуя их, получим выражения для точного определения температурного напора [6]:

$$\Delta \bar{t} = (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}) \frac{cG_0}{kF} (1 - \exp(-kF / cG_0)); \quad (15)$$

$$\Delta \bar{t} = \frac{cG_0}{\bar{G}^p F m (n-1)} \left(\left(\frac{mn \bar{G}^p F}{cG_0} + \frac{1}{(t_{\text{вх}} - t_{\text{в}})^n} \right)^{\frac{n-1}{n}} - (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}})^{1-n} \right). \quad (16)$$

На рис. 3 приведены зависимости среднего значения температурного напора от поверхности отопительного прибора, для тех же параметров теплоносителя и чугунного радиатора МС 140-108, построенные по формулам (15) – кривая 1 и (16) – кривая 2. Видно, что для 10-секционного отопительного прибора разность значений среднего температурного напора, определенная по этим формулам, мала и равна 0,23 °C.

Кривая 3 построена по формуле (15) с использованием практически достоверного значения коэффициента теплопередачи k , равного 8 Вт/(м²·°C). В этом случае расхождение в определении $\Delta \bar{t}$ (см. рис. 3, кривые 1 и 3) составляет 12,61 °C.

2. Параметрическая идентификация моделей отопительного прибора

Вследствие вышеизложенных недостатков требуется настройка моделей (4) и (10) на «реальный процесс», т.е. необходимо решение задачи параметрической идентификации по экспериментальным данным. Для этого на лабораторном стенде, содержащем чугунный радиатор М140 АО, имеющий 11 секций, схема присоединения разносторонняя – «сверху – вниз», был проведен экс-

координатного спуска со встроенным методом золотого сечения. При этом формально задача записывалась следующим образом:

$$I(m, n, p) = \sum_{i=1}^6 \left\{ t_B^3 + \left[\frac{mn}{cG_0} \bar{G}^p F_i^3 + (t_{\text{вх.л}}^3 - t_B^3)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}} - t_i^3(F_i^3) \right\} \rightarrow \min_{m, n, p} \quad (21)$$

Расчет для указанного случая показал, что оптимальными являются следующие значения параметров: $m = 1,504$, $n = 0,505$, $p = 0,01$. График зависимости (10), построенный для найденных значений экспериментальных коэффициентов, приведен также на рис. 5.

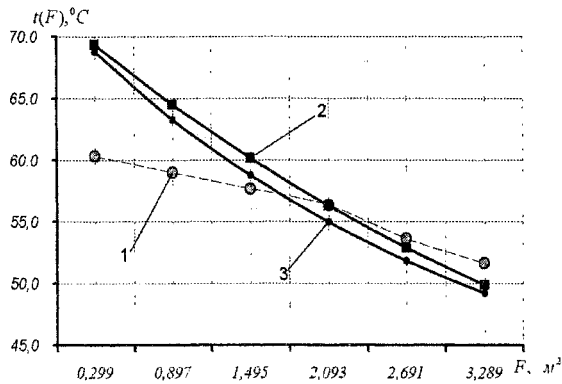


Рис. 5. Зависимости распределения температуры теплоносителя вдоль площади поверхности отопительного прибора:
 1 – экспериментальные точки;
 2 – по формуле (4);
 3 – по формуле (10);
 4 – по формуле (23)

Для выяснения вопроса о том, какая из указанных структур математической модели лучше, т.е. точнее описывает реальный процесс, для обоих случаев вычислим значения следующего критерия:

$$I = \sum_{i=1}^n [t_i^p(F_i^3) - t_i^3(F_i^3)]^2, \quad (22)$$

где t_i^p – расчетное значение температуры теплоносителя в пределах секции. При этом получили, для зависимости (10) критерий идентификации I меньше чем для (4).

Дополнительно экспериментальные данные аппроксимировались и линейной зависимостью $t(F) = t_{\text{вх}}^3 - aF$. Отыскивая методом наименьших квадратов параметр a , установили, что для данного случая конкретный вид зависимости будет таким:

$$t(F) = t_{\text{вх}}^3 - 7,258F, \quad (23)$$

при этом нашли, что критерий (22) принимает еще большее значение чем определенный для (4), следовательно линейная зависимость (23) является худшей структурой математической модели. График зависимости (23) также приведен на рис. 5.

3. Методы совершенствования графиков регулирования процессов теплоснабжения

Известно, что теплоотдачу отопительного прибора Q_0 можно определить по следующими уравнениями [3]:

$$Q_0 = 70K_{\text{н.у}} Fm (\Delta \bar{t} / 70)^{1+n} \bar{G}_{\text{отн}}^p; \quad (24)$$

$$Q_0 = cG_0 (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}); \quad (25)$$

$$Q_0 = kF \Delta \bar{t}, \quad (26)$$

где 70 – номинальный температурный напор; $K_{\text{н.у}}$ – номинальный условный коэффициент теплопередачи отопительного прибора, равный 9,2 Вт/(м²·°С), согласно рис. 4. [3]; $\Delta \bar{t}$ – среднее значение температурного напора, формула (11).

Таблица 2

Значение теплоотдачи прибора в зависимости от способа нахождения

№ столбца	1	2	3	4	5
m	1,039	–	1,504 ⁽²¹⁾	–	1,504 ⁽²¹⁾
n	0,3	–	0,505 ⁽²¹⁾	–	0,505 ⁽²¹⁾
p	0,02	–	0,01 ⁽²¹⁾	–	0,01 ⁽²¹⁾
$\Delta \bar{t}$, °С	32,5 ⁽¹¹⁾	–	32,5 ⁽¹¹⁾	33,8 ⁽¹⁵⁾	33 ⁽¹⁶⁾
k , Вт/(м ² ·°С)	9,2($K_{\text{н.у}}$)	–	8,526 ⁽⁶⁾	8,335 ⁽²²⁾	8,578 ⁽⁶⁾
Q_0 , Вт	775 ⁽²⁴⁾	1130 ⁽²⁵⁾	912 ⁽²⁶⁾	925 ⁽²⁶⁾	929 ⁽²⁶⁾

В табл. 2 приведены значения теплоотдачи радиатора в зависимости от площади поверхности, способов нахождения среднего значения температурного напора и коэффициента теплопередачи при $F = 3,289$ м²; при этом верхний индекс в скобках обозначает номер приведенной зависимости, определяющей соответствующую величину.

Из табл. 2 и (25) видно, что действительное значение Q_0 равно 1130 Вт, а наиболее близкое к нему значение получается при использовании степенной зависимости (16). Также ясно, что общепринятая методика будет давать погрешность определения теплоотдачи прибора до 30 % (столбец №1) в сторону снижения требуемой мощности прибора, ошибочно указывая на необходимость увеличения поверхности теплообмена F .

Из табл. 1 очевидна и неточность применяемой формулы (11), поэтому следует решить вопрос о целесообразности ее замены экспоненциальной (13) или степенной (14) зависимостью, которые, как это следует из табл. 2 и рис. 2, являются практически равноценными.

С эмпирическими коэффициентами непосредственно связан вопрос о регулировании отпуска, так как в методику по разработке графиков количественно-качественного регулирования заложены уравнение теплового баланса (5) и эмпирическая формула для коэффициента теплопередачи (6), приведение которых к расчетным параметрам и относительным нагрузкам позволяет представить, например, график качественного регулирования в виде [1]:

$$t_{\text{вх}} = t_{\text{в}} + \Delta t' \bar{Q}_0^{-n/(n+1)} + 0,5\theta' \bar{Q}_0, \quad (27)$$

где $\Delta t'$ – расчетное значение температурного напора; θ' – расчетный перепад температур в отопительной установке; \bar{Q}_0 – относительная нагрузка, равная отношению текущей нагрузки Q_0 к расчетной Q'_0 , произведение которых определить из уравнения (6): $Q_0 Q'_0 = F(\Delta t')^{n+1}$, а расчетную из уравнения (25): $Q'_0 = c G_0 \theta'$. Тогда по зависимости (4) можно построить график температур на выходе из отопительной установки:

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{в}} + (t_{\text{вх}} - t_{\text{в}}) \exp\left(-\theta \bar{Q}_0^{-n/(n+1)} / \Delta t'\right). \quad (28)$$

Однако общепринятая формула для построения графика температур обратной воды имеет вид:

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{в}} + \Delta t' \bar{Q}_0^{-n/(n+1)} - 0,5\theta' \bar{Q}_0. \quad (29)$$

Для сравнения зависимостей (28) и (29), при двух значениях показателя степени n построен график качественного регулирования отопительной установки, приведенный на рис. 6.

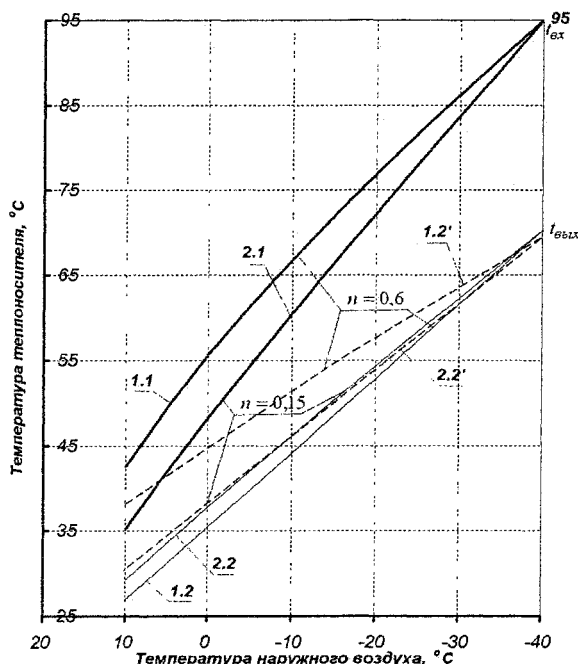


Рис. 6. График качественного регулирования

На рис. 6 жирные сплошные кривые обозначают температуру на входе в ОУ, остальные на выходе из нее. Кривые 1.1 и 1.2 построены по формулам (27) и (28), а кривая 1.2' по формуле (29) соответственно при $n = 0,6$; при рассмотрении последних кривых видно, что к концу отопительного периода $t_{\text{вых}}$ по формуле (29) будет на $11,3^\circ\text{C}$ чем при определении ее по экспоненциальной зависимости (28).

Также очевидно, что при увеличении значения n расхождения во всех случаях при постро-

нии графика регулирования увеличиваются, так как уменьшается крутизна графика.

Поэтому становится ясно, что тонкая корректировка температурного режима в зданиях невозможна даже при увеличении количества технологических ступеней между теплогенерирующим источником и потребителем, вследствие некорректного приведения зависимостей (27), (29) к расчетным параметрам.

Выводы

1. Уравнения (4) и (10) практически равноценны; последнее позволяет учитывать зависимость коэффициента теплопередачи от среднего значения температурного напора и расхода.
2. Анализ данных рис. 1, 2 указывает на весомость влияния коэффициента теплопередачи на зависимость $t(F)$ и неудовлетворительную точность определения численных значений параметров m , n и p , рекомендованных к использованию в работе [4].
3. Относительно критерия идентификации I определили, что структура модели (10) точнее описывает реальный процесс чем для (4).
4. Необходимо решить вопрос о целесообразности замены в практических расчетах уравнения (11) экспоненциальной (13) или степенной (14) зависимостью, которые являются практически равноценными.
5. Неточность эмпирических коэффициентов в формуле (6) исключает возможность выбора регулируемого параметра для удовлетворительного отпуска теплоты из-за большой погрешности вычисления, в частности при использовании формулы (29) – для определения температуры обратной воды на выходе из отопительной установки.

Литература

1. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: МЭИ. – 2006. – 472 с.
2. Сканава, А. Н. Переходные тепловые процессы в отопительных приборах / А. Н. Сканава, Л. М. Махов. – М.: Строительство и архитектура, 1986. – С. 86–88.
3. Сканава, А. Н. Отопление / А. Н. Сканава, Л. М. Махов. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2002. – 472 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства, Ч. 1. Отопление / В. Н. Богословский и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
5. Белинский, Е. А. Рациональные системы водяного отопления / Е. А. Белинский. – Л.: Стройиздат, 1963. – 278 с.
6. Денисенко, Ю. Н. Погрешность определения среднего значения температурного напора отопительного прибора / Ю. Н. Денисенко, А. Б. Дегтярь, В. И. Панферов. – Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности, Ульяновск, УлГТУ, 2006. – Т 1. – С. 190–194.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

О.В. Стукач

Проблема идентификации в последнее время становится исключительно важной в связи с необходимостью повышения качества процессов управления. Известно множество подходов к этой проблеме, например, идентификация на основе сплайн-аппроксимации [1]. Одним из этапов идентификации линейных систем во временной области является аппроксимация временных функций и конструирование на их основе передаточных функций. Аппроксимация временных характеристик проводится в такой последовательности: составление характеристических уравнений, определение корней и решение вспомогательных уравнений, где неизвестными считаются коэффициенты экспоненциальных многочленов, аппроксимирующих временные функции [2–4]. Эти этапы аппроксимации различны для разных классов систем и поэтому трудно алгоритмизуемы.

Цель работы – решение задачи идентификации дробно-рациональных передаточных функций систем на основе аппроксимации временных характеристик с использованием дифференциального преобразования [5].

Дифференциально-тейлоровское преобразование, предложенное и изученное Г.Е. Пуховым нашло применение в задачах математического моделирования, где решение уравнений на заданном интервале изменения независимого переменного эффективно может быть представлено степенными рядами Тейлора:

$$X(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=0} \longleftrightarrow x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k X(k), \quad (1)$$

где слева от символа \longleftrightarrow стоит прямое преобразование оригинала $x(t)$ в изображение $X(k)$ – дискреты дифференциального спектра, а справа – обратное преобразование $X(k)$ в $x(t)$, k – дискретный аргумент, t – время, H – некоторая постоянная.

Например, изображающая функция для оригинала $x(t) = e^{-t}$ равна

$$X(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k e^{-t}}{dt^k} \right]_{t=0} = \frac{(-H)^k}{k!} e^{-t} \Big|_{t=0} = \frac{(-H)^k}{k!}.$$

Дискреты функции $X(k)$, изображающей экспоненту e^{-t} , равны $X(0) = 1$, $X(1) = -H$, $X(2) = H^2/2!$, $X(3) = -H^3/3!$ и т.д. Совокупность этих дискрет образует дифференциальный спектр экспоненты e^{-t} (рис. 1). По дифференциальному спектру экспоненту можно легко восстановить:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k \frac{(-H)^k}{k!} = 1 - t + \frac{t^2}{2!} - \frac{t^3}{3!} + \dots = e^{-t}.$$

Согласно свойству связи с преобразованием Лапласа:

$$\int_0^{\infty} e^{-pt} x(t) dt \longleftrightarrow X(p) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k! X(k)}{p^{k+1} H^k}.$$

Для переходной характеристики $x(t)$ можно записать:

$$K(p) = pL[x(t)] = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k! X(k)}{p^k H^k} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\chi(k)}{p^k}, \quad (2)$$

где $\chi(k) = k! X(k) / H^k$, $p = j\omega$, ω – угловая частота. Из выражения (2) следует, что $K(p)$ представима бесконечным рядом. Для получения $K(p)$ в виде дробно-рациональной функции

$$K(p) = \frac{b_0 p^{n-1} + b_1 p^{n-2} + \dots + b_{n-1}}{p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n} \quad (3)$$

ряд следует ограничить. Так как вся информация о свойствах линейных систем n -го порядка вида (3) содержится в первых $2n$ коэффициентах ряда (2), то для получения $K(p)$ в виде (3) достаточно найти только $2n$ дискрет спектра временной функции [4]. Для этого, в случае таблично или графически заданной временной функции (рис. 2, а) составляем систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m X(j) = x(t_m) - x(0); \\ \sum_{j=1}^m \left(\frac{t_j}{H} \right)^j X(j) = x(t_i) - x(0); \\ i = \overline{1, m-1}, t_j = i\Delta t, \Delta t = H/m, t_m = m\Delta t, \end{cases} \quad (4)$$

где $m \geq 2n$, и, решая её, находим дискреты степенного многочлена, аппроксимирующего данную временную функцию. Согласно формуле (2) по найденным дискретам из (4) получаем $K(p)$ в виде ряда. Для получения $K(p)$ в виде (3) используем способ нахождения дробей, соответствующих рядам [3]. Как и в работе [1] будем считать, что система имеет передаточную функцию, вид которой известен, т.е. известен порядок числителя и знаменателя передаточной функции, но неизвестны коэффициенты.

С помощью системы линейных уравнений

$$\sum_{i=0}^{n-1} \chi(i+j) a_{n-i} = -\chi(n+j), \quad j = \overline{0, n-1} \quad (5)$$

определяем коэффициенты a_n , а из уравнений

$$\begin{cases} b_0 = \chi(0); \\ b_j = \chi(j) + \sum_{i=1}^j a_i \chi(j-i), \quad j = \overline{1, n-1} \end{cases} \quad (6)$$

находим коэффициенты b_n дроби (3).

Количество рассчитанных дискрет, которое используется при восстановлении решения в виде ряда Тейлора, является одним из наиболее существенных

факторов, влияющих на точность. Чем больше дискрет будет вычислено, тем более точным будет полученное решение, так как оно будет представлять более полный ряд Тейлора. Реальные условия всегда ограничивают максимальное количество вычисляемых дискрет объемом памяти, предназначенным для хранения значений, либо временем вычислений. Таким образом, из-за ограничения количества рассчитываемых дискрет возрастает ошибка самого метода. Таким образом, для реальных расчетов принципиально необходима оценка точности.

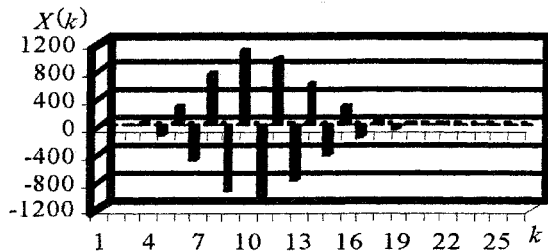


Рис. 1. Дифференциальный спектр
Экспоненты при $H = 9$

Численное моделирование показывает, что увеличение числа дискрет приводит к уменьшению отклонения решения на всем интервале, причем максимальное отклонение всегда приходится на конец интервала. Из этого вытекает, что среднеквадратическое значение погрешности всего решения будет не выше данного значения. Согласно свойству дифференциального преобразования, изображение конечного значения оригинала при $t = H$ равно сумме дискрет изображения оригинала. Отсюда следует очевидное равенство:

$$x(H) = \sum_{k=0}^{\infty} X(k) = \sum_{k=0}^n X(k) + r(n+1),$$

где $r(n) = \sum_{k=n}^{\infty} X(k)$.

Учитывая знакопеременность дифференциального спектра, можно предположить, что отклонение решения при $t = H$ по абсолютной величине будет не больше самой старшей рассчитанной дискреты:

$$|r(n+1)| < |X(n)|.$$

Тогда верхнюю границу погрешности можно определить исходя из величины последней дискреты следующим образом:

$$R(n) = |X(n)| / \sum_{k=0}^n X(k).$$

Полученный критерий является довольно грубым, но позволяет быстро оценить погрешность полученного решения при заданном количестве дискрет на текущем интервале времени. Более точную оценку погрешности можно получить, если сравнивать между собой решения, полученные для n и $n+m$ дискрет:

$$R(n, m) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \left| 1 - \frac{x(t_i, n)}{x(t_i, n+m)} \right|^2}, \quad t_i \in [0 \dots H].$$

Математическая строгость требует сравнения значений этой погрешности для $m = 1, 2, 3, \dots$ до тех пор, пока соответствующие значения $R(n, m)$ не будут совпадать с требуемой точностью. При таком использовании данный критерий довольно трудоемок, так как кроме двойного расчета решения он требует еще и дополнительного расчета m дискрет $X(n+1), X(n+2), \dots, X(n+m)$.

Погрешность восстановленного решения существенно зависит от временного интервала, на котором оно восстанавливается. Поскольку дискреты фактически представляют собой слагаемые степенного ряда (1) в точке $t = H$, по дифференциальному спектру можно судить о сходимости ряда (1) на интервале $T = [0 \dots H]$. Известно, что, если ряд сходится в точке $t = H$, то он сходится на всем интервале T . Если последние дискреты спектра являются убывающими и их величина достаточно мала по сравнению с суммой, то можно говорить о сходимости ряда. Если спектр не является убывающим с некоторой дискреты, то решение расходится на данном интервале. В таком случае требуется увеличение количества дискрет, либо уменьшение интервала.

По дифференциальному спектру можно не только судить о сходимости, но также и оценить точность решения при заданном количестве дискрет, либо наоборот, оценить количество дискрет, требуемое для достижения заданной точности решения на интервале $T = [0 \dots H]$. Наибольшее отклонение решения оказывается в конце интервала при $t = H$. Тогда для достижения абсолютного отклонения решения в конце интервала менее R_H необходимо, чтобы величина последней дискреты была меньше заданной величины R_H .

Для линейных устройств при любом значении H всегда найдется такой номер дискреты n , для которого выполняется условие $|X(n+k)| < R_H, k = 0, 1, 2, \dots$. Это означает, что при достаточном количестве дискрет решение может быть построено на любом интервале. Данное утверждение можно доказать следующим образом. Решение линейного дифференциального уравнения есть сумма экспонент. В дифференциальной форме выражение для расчета дискрет спектра экспоненты выглядит как $X(k) = (cH)^k / k!$, или в рекуррентной форме: $X(k) = X(k-1)cH/k$. Для того, чтобы значение дискреты $X(n)$ достигло требуемого малого значения R_H , необходимо и достаточно, чтобы дифференциальный спектр стал убывающим с некоторой дискреты m , то есть $|X(k+m)| < |X(k+m-1)|$. Для этого необходимо и достаточно, чтобы множитель cH/k был меньше единицы. Иначе говоря, дискреты начнут убывать при $k > |cH|$. Следовательно, всегда найдется такое n , что $|(cH)^n / n!| < R_H$. Оче-

видно, что с увеличением значения H при расчете дискрет увеличивается и номер n .

Таким образом, широкое использование дифференциальных преобразований напрямую зависит от уровня развития вычислительной техники. Существенный прогресс в этой области, появление мощных компьютеров и программного обеспечения уже в настоящее время вновь позволяет вернуться к вопросу о применении дифференциальных преобразований для исследования систем.

В качестве примера рассмотрим экспоненциальный полином [3]:

$$h(t) = 1,992e^{-0,779t} - e^{-0,584t} \times (0,992 \cos(1,34t) - 0,39 \sin(1,34t)), \quad (7)$$

построенный по значениям функции $h(t) \in \{1; 0,95; 1; 0,942; 0,75; 0,491; 0,25; 0,083; 0\}$, $t = 0,4$ с, с шагом 0,5 с. Используя преобразование Лапласа, найдем передаточную функцию этого полинома:

$$K_1(p) = \frac{p^3 + 1,497p^2 + 4,1212p}{p^3 + 1,947p^2 + 3,047p + 1,665}. \quad (8)$$

Найдем передаточную функцию, используя дифференциальное преобразование. Для этого решим систему (4), зная значения функции в узлах интерполяции, и при $H = 4$ найдем дискреты спектра $X(k) \in \{1; -1,85; 17,35; -52,27; 51,6; 1,18; -35,31; 23,3; -5\}$, $k = 0,8$. Используя только $2n = 6$ первых дискрет с целью получения передаточной функции третьего порядка, находим:

$$K_2(p) = \frac{p^3 + 1,619p^2 + 4,04p}{p^3 + 2,082p^2 + 2,835p + 1,698}, \quad (9)$$

Если взять в два раза меньшее число значений функции $h(t)$ (с шагом 1), то по дискретам спектра $X(k) \in \{1; -1; 13,02; -52,08; 65,1; 1; -26,04\}$, получим передаточную функцию:

$$K_3(p) = \frac{p^3 + 1,415p^2 + 2,416p}{p^3 + 1,615p^2 + 1,697p + 1,157}. \quad (10)$$

Амплитудно-частотные характеристики $K(\omega) = |K(p)|$ для формул (8)–(10) изображены на рис. 2, б. Малая ошибка аппроксимации $K_1(\omega)$ функцией $K_2(\omega)$ (максимальное отклонение 5 %) по сравнению с $K_3(\omega)$ – 35 % объясняется большим числом взятых значений временной функции при одинаковом числе дискрет. В случае увеличения числа отсчетов временной функции и, следовательно, возможного в связи с этим повышения порядка передаточной функции, можно повысить точность аппроксимации.

Существенное повышение точности достигается в случае, если (2) представить суммой бесконечно убывающей геометрической прогрессии с первым членом $c_0 = \chi(0)$ и знаменателем q . Передаточная характеристика системы может быть найдена по формуле:

$$K(p) = c_0 / (1 - q) \quad (11)$$

без аппроксимации (4)–(6). Например, если

$$h(t) = \cos(t/\sqrt{a}), \quad (12)$$

то для нахождения $K(p)$ (12) представим в виде

$$h(t) = 1/2 [\exp(jt/\sqrt{a}) + \exp(-jt/\sqrt{a})],$$

и найдем дискреты спектра

$$X(k) = H^k / 2k! [(j/\sqrt{a})^k + (-j/\sqrt{a})^k].$$

По формуле (2) найдем выражение

$$K(p) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(j)^k + (-j)^k}{2p^k (\sqrt{a})^k} = 1 + 0 - \frac{1}{p^2 a} + 0 + \frac{1}{p^4 a} + \dots,$$

которое представляет собой бесконечно убывающую геометрическую прогрессию для $c_0 = 1$ и $q = -1/(p^2 a)$. Используя (11), получаем:

$$K(p) = p^2 a / (1 + p^2 a).$$

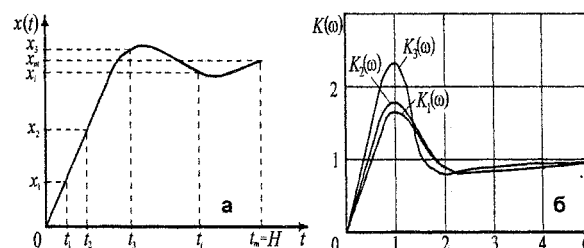


Рис. 2. Графические зависимости: а – аппроксимация временных характеристик; б – передаточные функции (8)–(10) экспоненциального полинома (7)

Следовательно, имея все дискреты временной функции, по соотношению (11) можно получить точную передаточную характеристику.

Рассмотренная методика идентификации передаточной функции легко алгоритмируется, и её можно использовать в программах синтеза линейных систем.

Литература

1. Плотникова, Н. В. Алгоритмы решения задачи идентификации / Н. В. Плотникова, Н. С. Калистратова, О. Н. Малавкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – Вып. 4, № 14(69). – 2006. – С. 133–139.
2. Матханов, П. Н. Синтез реактивных четырехполюсников по временным функциям / П. Н. Матханов. – Л.: Энергия, 1970. – 140 с.
3. Кочанов, Н. С. Основы синтеза линейных электрических цепей во временной области / Н. С. Кочанов. – М.: Связь, 1967. – 200 с.
4. Дехтяренко, П. И. Определение характеристик звеньев систем автоматического регулирования / П. И. Дехтяренко, В. П. Коваленко. – М.: Энергия, 1973. – 120 с.
5. Пухов, Г. Е. Дифференциальные преобразования и математическое моделирование физических процессов / Г. Е. Пухов. – Киев: Наук. думка, 1986. – 157 с.

ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОСТРУЙНОГО ЭЖЕКТОРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ КОНДЕНСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ТЭЦ

Т.А. Барбасова, И.Е. Вахромеев, П.Н. Дивнич, Д.А. Шнайдер

В настоящее время поддержание вакуума в конденсаторах паровых турбин на тепловых электростанциях осуществляется пароструйными и водоструйными эжекторами, конструкции которых были разработаны более 20–25 лет назад.

Как известно, вакуум в конденсаторе турбины зависит от

- расхода пара в конденсатор (нагрузки турбины);
- температуры и расхода циркуляционной воды;
- наличия отложений на теплообменной поверхности.

Ещё одним фактором, который влияет на вакуум в конденсаторе, являются неконденсирующиеся газы, поступающие в конденсатор с паром (в основном, присосы воздуха). Однако, когда их расход не превышает нормированного значения, при правильно подобранном эжекторе, влияние газов на работе конденсатора практически не сказывается.

Давление среды в конденсаторе должно быть равно значению, определяемому его расчётной характеристикой при фактических: паровой нагрузке, температуре и расходе циркуляционной воды, а также состоянии поверхности трубок.

Однако такие режимы работы конденсатора возможны только тогда, когда эжектор способен поддерживать давление, равное давлению среды в конденсаторе, соответствующее его характеристике.

К сожалению, существующие эжекторы не могут обеспечить поддержание давления среды в конденсаторе, отвечающего его характеристике во всём диапазоне изменения температуры циркуляционной воды в течение года.

Во всех режимах работы конденсационной установки, в которых температура циркуляционной воды не равна её среднегодовому значению, в конденсаторе устанавливается давление, превышающее то, которое мог бы обеспечить конденсатор согласно его характеристике.

Рассмотренная проблема в настоящее время решается нерационально и не полностью. Турبوустановки комплектуются двумя эжекторами, каждый из которых может поддерживать расчётный вакуум при среднегодовой температуре циркуляционной воды.

Поэтому разработка схемных и конструктивных решений введения дополнительного пароструйного эжектора позволит удовлетворить требованиям работы конденсационной установки при переменной температуре циркуляционной воды [1].

1. Построение рабочей характеристики пароструйного эжектора

Наибольшее распространение пароструйные эжекторы с большими степенями расширения получили в паротурбинных конденсационных установках.

В условиях эксплуатации основными причинами, вызывающими изменение давления всасывания эжектора, являются изменения расхода и температуры отсасываемой паровоздушной смеси.

Характеристика эжектора при отсасывании паровоздушной смеси определенной температуры состоит из различных участков. Два участка характеристики эжектора соответствуют двум различным режимам работы: предельному и допредельному.

Рабочий участок характеристики работы пароструйного эжектора $p_n = f(u)$ в диапазоне давлений всасывания от p_n , соответствующего $u = 0$, до $p_n = p_{p1}$ описывается уравнением:

$$u_{пр} = \left(\mu \frac{f_3}{f_{p*}} - \frac{1}{q_{рн}} \right) \frac{k_n}{k_p} \cdot \frac{\Pi_n^*}{\Pi_p^*} \cdot \frac{a_p^*}{a_n^*} \cdot \frac{p_n}{p_p},$$

где p_c – давление сжатого потока на выходе эжектора, Па; p_n – давление инжектируемого пара, Па; p_p – давление рабочего пара, Па.

Для построения рабочего участка характеристики определяется давление всасывания p_n , при котором $u = 0$.

Из предыдущего уравнения:

$$q_{рн} = f_{p*} / (\mu f_3).$$

По найденному значению приведенной массовой скорости $q_{рн}$ из газодинамических таблиц определяем относительное давление $\Pi_{рн}$ и искомое p_n .

Затем, задаваясь различными значениями $p_n < p_n < p_{p1}$, определяем соответствующие $\Pi_{рн}$ и $q_{рн}$ и по уравнению находим коэффициент эжекции при заданном p_n .

Таким путем строим рабочий участок характеристики работы эжектора $p_n = f(u)$ или $p_n = f(G_n)$.

В качестве примера приведен расчет пароструйного эжектора станции ST-3 ОАО «ММК». Для рассчитанного пароструйного эжектора с исследуемыми параметрами для первого режима работы пароструйного компрессора ($p_p = 8$ Бар, $T_n = 55,6$ °С, $G_p = 1500$ кг/ч, $d_p^* = 21,6$ мм, $d_{p1} = 61,1$ мм, $d_3 = 111,4$ мм, $d_2 = 140,5$ мм) рабочие характеристики эжектора имеют вид, представленный на рис. 1, 2. Расчетные значения характеристики работы эжектора при данном режиме работы приведены в таблице.

Характеристики работы эжектора

p_n , Па	$\Pi_{рн}$	Π_x	$q_{рн}$	u	G_n , кг/с
2820,2	0,004	0,578	0,030	0	0
5820,2	0,007	0,578	0,055	0,086	0,036
8820,2	0,011	0,578	0,077	0,192	0,080
11820,2	0,015	0,578	0,097	0,319	0,133
14820,2	0,018	0,578	0,116	0,484	0,201
15320,2	0,019	0,578	0,119	0,595	0,248
15820,2	0,019	0,578	0,122	0,771	0,321
16320,2	0,020	0,578	0,125	1,086	0,453
16820,2	0,021	0,578	0,128	1,785	0,744

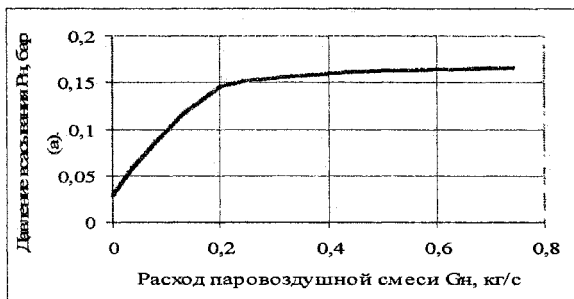


Рис. 1. Зависимость давления в конденсаторе от расхода инжектируемой паровоздушной смеси

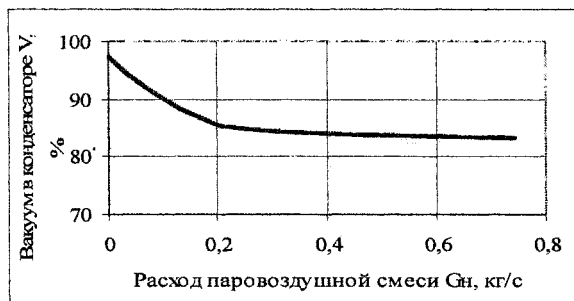


Рис. 2. Зависимость вакуума в конденсаторе от расхода инжектируемой паровоздушной смеси

Выводы

1. Для подготовки технической документации на изготовление пароструйного эжектора необходимо проведение обследования условий работы конденсатора конкретной выбранной турбоустановки для определения диапазона изменения параметров, влияющих на вакуум в конденсаторе (по оперативным данным электростанции). После этого провести выбор конструктивного варианта пароструйного эжектора.

2. Разработанные схемные и конструктивные решения пароструйного эжектора для определенного рабочего режима позволят удовлетворить требованиям работы конденсационной установки при переменной температуре циркуляционной воды.

3. Произведены расчеты 6 вариантов режимов работы дополнительного пароструйного эжектора при изменении расхода рабочего пара на эжектор от 1500 кг/ч до 500 кг/ч и изменении параметров инжектируемого пара.

4. Рассчитанные варианты режимов работы эжектора показывают, что все аппараты работают в необходимом диапазоне изменения давления в конденсаторе и расхода отсасываемого пара.

5. Для повышения эффективности работы системы охлаждения турбин, рекомендуется проведение дополнительных исследований режимов работы градирни с целью увеличения перепада температуры охлаждающей воды при возможном снижении расхода охлаждающей воды до рабочего значения для конденсатора.

Литература

1. Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 352 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАСПОРТОВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Е.В. Гойтина, Д.А. Шнайдер

В настоящее время управление режимами теплоснабжения потребителей промышленных предприятий осуществляется, как правило, с помощью автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ), которые выполняют функции сбора, накопления и представления на ЭВМ информации о параметрах теплоносителя на источниках, в магистральных трубопроводах и у крупных потребителей.

Однако для повышения эффективности и надежности теплоснабжения целесообразным является также проведение оперативного анализа текущих режимов функционирования тепловых сетей. Целью такого анализа является выявление потребителей и участков сети, характеризующихся повышенными потерями (утечками) теплоносителя и нерациональным использованием тепла (пониженным теплосъемом). При этом с учетом масштабы систем теплоснабжения крупных промышленных предприятий, является актуальной задача разработки автоматизированной системы управления энергоэффективностью теплоснабжения (АСУ-ЭТ) [1].

Основной задачей, решаемой с помощью АСУ-ЭТ, является анализ режимов теплоснабжения на основе сопоставления нормативных и фактических значений показателей функционирования, характеризующих эффективность работы тепловых систем потребителей.

В качестве показателей эффективности целесообразно использовать следующие характеристики:

- температурный напор, представляющий собой разность температур теплофикационной воды между подающим (T_1) и обратным (T_2) трубопроводами:

$$dT = (T_1 - T_2), \text{ } ^\circ\text{C};$$

- процент утечек (разность расходов в подающем (G_1) и обратном (G_2) трубопроводах), который с учетом погрешности измерительных приборов δ может быть рассчитан по следующей формуле

$$\Delta = (G_1(1 - \delta) - G_2)/G_2 \cdot 100 \text{ } \%$$

Фактические значения показателей функционирования тепловых сетей поступают в АСУ-ЭТ из АСДУ. Исходными данными для определения нормативных значений показателей функционирования являются данные энергетических паспортов потребителей, полученные в результате энергетических обследований.

Проведение энергетической паспортизации промышленного потребителя включает в себя следующие этапы:

- составление перечня показателей и форм сбора данных с учетом специфики конкретного производства;
- автоматизация ввода и обработки информации из первичных форм сбора данных;
- проведение обследований потребителей ресурсов и наполнение базы данных информацией;
- обработка и представление полученных данных.

Для реализации указанных задач в условиях крупного промышленного предприятия целесообразно использовать автоматизированную информационную систему ведения энергетических паспортов потребителей (АИС) «Энергопаспорт», подробно описанную в [2].

АИС «Энергопаспорт» позволяет автоматизировать ввод, хранение и вывод в виде отчетов информации о характеристиках зданий и установленного теплотехнического оборудования. Программа рассчитывает нормативные объемы потребления ресурсов с учетом температурного графика теплоснабжения и режимов работы оборудования. Полученные в результате использования АИС «Энергопаспорт» нормативные характеристики далее могут быть использованы для анализа режимов теплоснабжения в рамках АСУ-ЭТ.

Анализ режимов тепловых сетей может быть проведен на основе приведенных выше показателей эффективности по следующим критериям:

1. Температурный напор.

Если система отопления обеспечивает перепад температур на тепловом вводе потребителей, предусмотренный температурным графиком регулирования теплоснабжения, то это свидетельствует об эффективном использовании тепловой энергии, т.е.:

$$dT_{\text{факт}} \geq dT_{\text{норм}}$$

2. Процент утечек теплоносителя.

Если фактические значения утечек теплоносителя на тепловых вводах потребителей не превышают нормативные утечки, определяемые с учетом емкости систем теплоснабжения потребителей и средней температуры наружного воздуха за рассматриваемый период, то это свидетельствует о нормальном состоянии тепловых систем потребителей, т.е.:

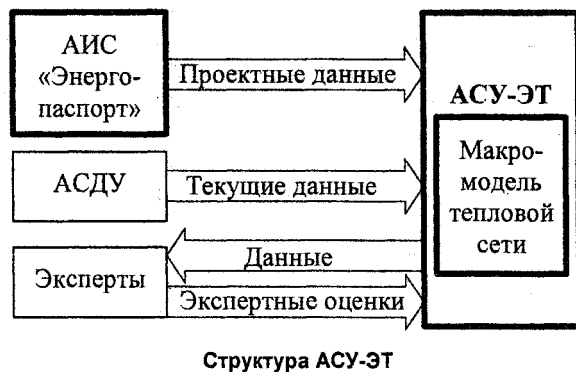
$$\Delta_{\text{факт}} \leq \Delta_{\text{норм}}$$

Если приведенные выше критерии не выполняются, то необходимо проведение детального энергетического обследования тепловых систем потребителей.

Дополнительной функцией АСУ-ЭТ является оперативный анализ режимов при структурных переключениях в тепловых сетях в результате проведения плановых ремонтных работ и аварийных ситуациях на основе использования математической макромоделли, подробно описанной в [3]. Особенностью применения макромоделли является возможность проведения расчетов без детальных обследований характеристик потребителей и тепловых сетей на основе данных АСДУ и АИС «Энергопаспорт».

Далее, необходимо отметить, что оснастить всех потребителей системы теплоснабжения крупного промпредприятия необходимыми приборами учета потребления тепла в рамках АСДУ на практике очень сложно. Кроме того, провести полный энергоаудит всех потребителей крупного промышленного предприятия также является весьма затруднительным, что в итоге приводит к неполным или частично недостоверным исходным данным, используемым АСУ-ЭТ. Поэтому для анализа эффективности теплоснабжения в рамках АСУ-ЭТ необходим дополнительный источник знаний, в качестве которого могут выступать экспертные оценки [4].

Обобщенная структура АСУ-ЭТ, отражающая потоки информации, представлена на рисунке.



Алгоритм работы АСУ-ЭТ следующий:

1. В базу данных АСУ-ЭТ поступает информация об эксплуатационных характеристиках источников и потребителей системы теплоснабжения из АСДУ, информация о нормативных характеристиках потребителей из АИС «Энергопаспорт».

2. Проводится автоматизированный анализ режимов тепловых сетей на основании приведенных выше критериев оценки эффективности теплоснабжения.

3. На основе использования разработанной макромоделли тепловой сети осуществляется оперативный расчет режимов теплоснабжения при изменении структуры тепловых сетей и параметров теплоснабжения.

4. Проводится экспертная оценка и корректировка полученных результатов анализа и формирование рекомендаций и планов энергосберегающих мероприятий.

Практическое использование АСУ-ЭТ для анализа режимов тепловых сетей на основе использования энергетических паспортов потребителей позволяет оперативно выявлять наиболее проблемные участки тепловых сетей и потребителей и своевременно выполнять необходимые ремонтные, наладочные и регулировочные работы.

Литература

1. Гойтина, Е. В. Автоматизированная система управления энергоэффективностью теплоснабжения промышленного предприятия / Е. В. Гойтина // Создание и внедрение корпоративных информационных систем (КИС) на промышленных предприятиях Российской Федерации. Вып. 2 : сб. тр. Международной науч.-техн. конф. / под ред. Д. Х. Девятова. – Магнитогорск: ИПЦ ООО «Проф-Принт», 2007. – С. 213–217.

2. Казаринова, В. Л. Проведение энергетической паспортизации объектов ОАО «ММК» с использованием средств автоматизации / В. Л. Казаринова, Д. А. Шнайдер // Информационные технологии в управлении промышленностью и экономикой субъектов РФ. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – С. 50–54.

3. Гойтина, Е. В. Подход к автоматизированному анализу эффективности режимов теплоснабжения на основе макроmodellирования / Е. В. Гойтина, Д. А. Шнайдер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2007. – Вып. 5, № 7(79). – С. 9–11.

4. Орлов, А. И. Теория принятия решений / А. И. Орлов. – М.: Издательство «Март», 2004. – 656 с.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ*

А.Г. Щипицын, О.С. Ваулина

Для решения проблемы защиты окружающей среды требуется комплекс мероприятий, включающих разработку и внедрение современных установок для очистки, переработки и утилизации, неиспользуемых по техническим или экономическим причинам жидких промышленных отходов.

В настоящее время, в условиях рынка, для небольших предприятий нецелесообразно использование крупных установок. С другой стороны, ужесточились требования по экологической безопасности производства: возросли штрафы за загрязнение окружающей среды. Одним из решений проблемы является разработка мобильных малорасходных энергетических установок для утилизации жидкостей (в частности: углеводородные жидкости, жидкие промышленные отходы, содержащие углеводороды, негорючие жидкости и механические примеси, неспособные к самостоятельному горению) и создание систем для обеспечения оптимального управления теплофизическими процессами в этих установках.

Анализ состояния исследуемой проблемы показал, что существует большое количество исследований, посвященных следящим системам управления по давлению различными техническими объектами (двигательными установками). Однако исследования систем управления технологическим процессом утилизации на основе применения аппарата нечеткой логики в условиях неопределенности состава производственных отходов отсутствуют. Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов, или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно или неопределенно.

Разработана и изготовлена установка для термического обезвреживания жидких промышленных отходов, основными элементами которой являются: газогенератор, реактор, скруббер Вентури и каплеуловитель.

В процессе функционирования установки для утилизации жидких промышленных отходов могут возникать колебания давления на входе в реактор при докритическом истечении газа или жидкости. Это ведет к возникновению отклонения системы от устойчивого положения. Кроме того, для устойчивого горения и полного сгорания компонентов

топлива в установках для утилизации необходимо обеспечивать постоянное соотношение массовых расходов компонентов. А также возможны колебания соотношения массовых расходов компонентов из-за случайного изменения в смеси массовых долей воды и твердого вещества. Поскольку в смеси продуктов сгорания присутствуют вредные для окружающей среды вещества, то возникает задача обеспечения безопасной концентрации вредных примесей в пределах рабочей зоны установки. Поэтому актуальной задачей является разработка системы управления технологическим процессом утилизации на основе аппарата нечеткой логики и алгоритма оптимального управления установкой позволяющего минимизировать отклонение системы от устойчивого положения, вызванного различными факторами. Модель системы управления на нечеткой логике позволяет решать задачи управления теплофизическими процессами в условиях неопределенности и неоднородности состава сжигаемых жидкостей, причем математического описания объекта при этом не требуется.

Построена модель системы управления на нечеткой логике, которая позволяет установке работать в условиях устойчивого горения и полного сгорания масла И-40 с примесями неопределенного состава, дает возможность ограничить вредные выбросы до предельно допустимой концентрации и осуществляет плавное управление соотношением массовых расходов на основе апостериорной информации о массовых долях воды и твердых частиц в отходах.

Разработанная система оптимального управления позволяет ограничить вредные выбросы до предельно допустимой концентрации и осуществляет плавное управление соотношением массовых расходов при утилизации только индустриального масла И-40 с примесями неопределенного состава. Но данная система управления не работает с широким диапазоном утилизируемых жидкостей. Поэтому требуется провести дополнительные теоретические и экспериментальные исследования для расширения базы знаний и базы данных системы оптимального управления на основе нечеткой логики.

1. Экспериментальные исследования вредных выбросов из дымовой трубы установки

Используя газоанализатор Testo 300M получены следующие зависимости измеряемых компо-

* При финансовой поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук Президентом Российской Федерации

нентов газа и температуры газа от процентного содержания воды в углеводородсодержащих жидкостях (УЖ) (рис. 1–5, табл. 1–3).

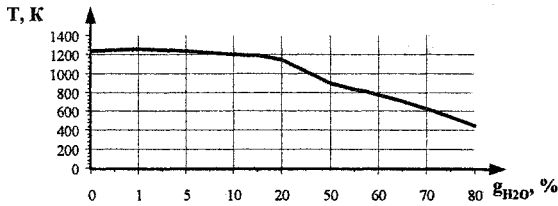


Рис. 1. График зависимости температуры газа от процентного содержания воды в УЖ

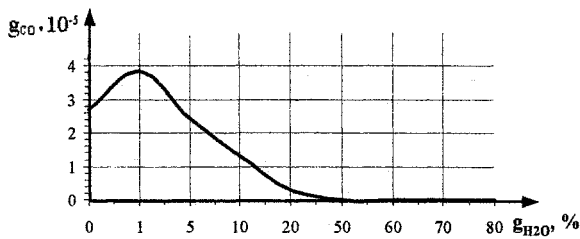


Рис. 2. График зависимости значений весовых долей оксида углерода от процентного содержания воды в УЖ

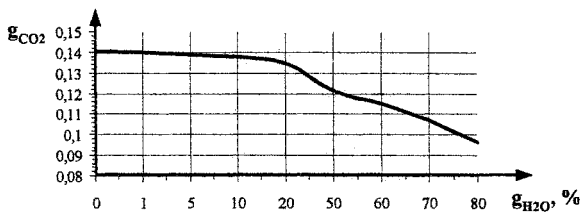


Рис. 3. График зависимости значений весовых долей диоксида углерода от процентного содержания воды в УЖ

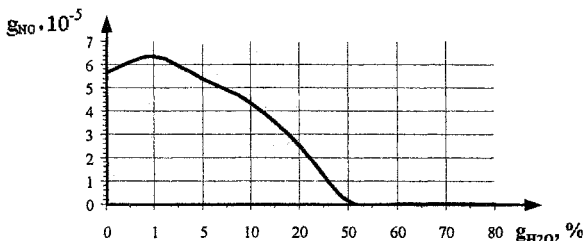


Рис. 4. График зависимости значений весовых долей оксида азота от процентного содержания воды в УЖ

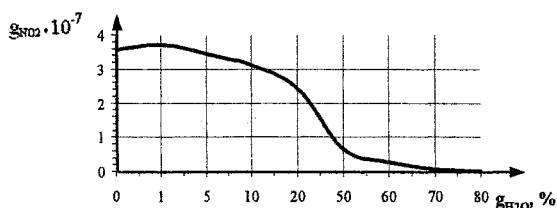


Рис. 5. График зависимости значений весовых долей диоксида азота от процентного содержания воды в УЖ

Данные, полученные с газоанализатора и изображенные на рис. 1–5, являются входными переменными системы управления, основанной на ал-

парате нечеткой логики (СУНЛ). Для получения желаемых показателей на выходе системы необходимо провести термодинамический расчет.

2. Термодинамический расчет реактора установки

С целью выяснения состава продуктов сгорания углеводородной смеси и весовых долей вредных примесей проведен термодинамический расчет реактора.

Стехиометрическое соотношение между окислителем и горючим [1]:

$$K_0 = \dot{m}_o / \dot{m}_r, \quad (1)$$

где \dot{m}_o – массовый расход окислителя; \dot{m}_r – массовый расход горючего.

Действительное соотношение между компонентами топлива оценивается через коэффициент избытка окислителя α [1]:

$$K = \alpha K_0.$$

Опыт показывает, что оптимальным для процесса обезвреживания сточных вод является коэффициент избытка окислителя: $\alpha = 1,1$.

Для устойчивого горения и полного сгорания компонентов топлива необходимо регулировать количество поступающего окислителя и горючего в реактор для обеспечения необходимого соотношения по рассчитанным значениям коэффициента K .

Термодинамический расчет проводился на программе «Термодинамика», разработка Ижевского государственного технического университета (разработчик М.А. Корепанов).

3. Алгоритм расчета эквивалентной формулы для смесей

На вход газогенератора по трубопроводам подаются компоненты топлива: газ (пропан-бутановая смесь) и воздух. На выходе газогенератора мы имеем высокотемпературную струю, которая в дальнейшем поступает на вход реактора.

Для определения состава поступающей смеси в реактор проведем расчет пропан-бутановой смеси. Известно, что содержание пропана C_3H_8 – 50 % и бутана по C_4H_{10} – 50 % от общего объема смеси. Для проведения расчетов наиболее удобно представлять компоненты топлива эквивалентной формулой, которая рассчитывается на условный (эквивалентный) молекулярный вес $\mu_s = 1000$. Молекулярный вес компонентов по формуле [3]:

$$\mu_k = \sum_{i=1}^m \mu_i b_{ik}, \quad (2)$$

где μ_i – атомный вес химического элемента A_i ; b_{ik} – количество атомов i -го химического элемента в эквивалентной формуле; μ_k – молекулярный вес необходимой смеси химических элементов; m – количество веществ в смеси.

Молекулярный вес пропана и бутана:

Таблица 1

Весовые доли компонентов в смеси УЖ – вода

Содержание воды, %	$g_{S_{C_{30}H_{58}S+H_2O}}$	$g_{C_{C_{30}H_{58}S+H_2O}}$	$g_{H_{C_{30}H_{58}S+H_2O}}$	$g_{O_{C_{30}H_{58}S+H_2O}}$
0	0,0711	0,7992	0,1297	0,0000
0,5	0,0708	0,7952	0,1296	0,0044
1	0,0704	0,7912	0,1295	0,0089
3,5	0,0686	0,7712	0,1290	0,0311
5	0,0676	0,7592	0,1288	0,0444
7,5	0,0658	0,7393	0,1283	0,0666
10	0,0640	0,7193	0,1279	0,0888
15,0	0,0605	0,6793	0,1270	0,1332
20	0,0569	0,6394	0,1261	0,1776
35,0	0,0462	0,5195	0,1235	0,3108
50	0,0356	0,3996	0,1208	0,4440
55,0	0,0320	0,3596	0,1199	0,4885
60	0,0284	0,3197	0,1190	0,5329
70	0,0213	0,2398	0,1172	0,6217
80	0,0142	0,1598	0,1155	0,7105

Таблица 2

Весовые доли компонентов для воды, УЖ и смеси ПС – воздух

Весовые доли соответствующего компонента в соответствующем веществе	S	C	H	O	Ar	N
H ₂ O	–	–	0,112	0,888	–	–
C ₃₀ H ₅₈ S	0,071	0,799	0,129	–	–	–
C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀ + воздух	–	0,045	0,009	0,219	0,012	0,713

Таблица 3

Значения весовых долей компонентов смеси, коэффициентов K и K₀ при различном содержании воды в смеси

Содерж. воды, %	m_{H_2O}	g_{H_2O}	$g_{ПС}$	g_M	g_{Sr}	g_{Cr}	g_{Hr}	g_{Or}	K ₀	K
0	21	0,568	0,334	0,108	0,0076	0,101	0,08	0,577	6,533	7,186
0,5	20,98	0,567	0,324	0,108	0,0077	0,100	0,08	0,575	6,510	7,161
1	20,96	0,567	0,325	0,108	0,0076	0,100	0,08	0,575	6,505	7,156
3,5	20,86	0,565	0,325	0,108	0,0074	0,098	0,08	0,577	6,484	7,133
5	20,8	0,565	0,326	0,108	0,2322	8,201	79,8	0,577	6,472	7,120
7,5	20,7	0,564	0,326	0,109	0,0072	0,095	0,08	0,579	6,451	7,096
10	20,6	0,563	0,327	0,109	0,0069	0,093	0,08	0,581	6,430	7,073
15	20,4	0,560	0,329	0,109	0,0066	0,089	0,07	0,584	6,389	7,028
20	20,2	0,558	0,331	0,110	0,0062	0,085	0,08	0,588	6,346	6,981
35	19,6	0,560	0,337	0,112	0,0052	0,058	0,07	0,606	6,115	6,727
50	19	0,543	0,343	0,114	0,0040	0,061	0,08	0,608	6,08	6,690
55	18,8	0,540	0,344	0,114	0,0037	0,057	0,07	0,611	6,034	6,638
60	18,6	0,537	0,347	0,115	0,0041	0,061	0,08	0,605	6,062	6,668
70	18,2	0,532	0,351	0,117	0,0041	0,062	0,07	0,601	6,042	6,647
80	17,8	0,526	0,355	0,118	0,0042	0,063	0,07	0,598	6,02	6,623

$$\begin{cases} \mu_{\text{проп}} = 3\mu_C + 8\mu_H, \text{ г/моль;} \\ \mu_{\text{бутан}} = 4\mu_C + 10\mu_H, \text{ г/моль.} \end{cases} \quad (3)$$

Суммарный молекулярный вес пропан-бутановой смеси:

$$\mu_{\Sigma} = 0,5\mu_{\text{проп}} + 0,5\mu_{\text{бутан}}, \text{ г/моль.} \quad (4)$$

Весовые доли компонентов смеси:

$$g_k = r_k \mu_k / \mu_{\Sigma}, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

где r_k – мольная (объемная) доля вещества в смеси;
 g_k – весовая доля компонента,

$$\begin{cases} g_{\text{пропан}} = 0,5\mu_{\text{пропан}} / \mu_{\Sigma}; \\ g_{\text{бутан}} = 0,5\mu_{\text{бутан}} / \mu_{\Sigma}. \end{cases} \quad (6)$$

Определение количества атомов b_{ik} в эквивалентной формуле для отдельно взятого компонента [3]:

$$b_{ik} = \mu_{\Sigma} g_k / \mu_k. \quad (7)$$

Количество атомов b_{ik} в эквивалентной формуле для всей смеси [3]:

$$b_{i3} = \sum_{k=1}^m g_k b_{ik}. \quad (8)$$

В результате расчетов получили эквивалентные формулы: пропан-бутановой смеси $C_{68,479}H_{176,089}$, воздуха $N_{53,918}O_{14,485}Ar_{0,3212}C_{0,01022}$, УЖ $C_{128,643}H_{66,539}S_{2,218}$, воды $H_{111,0124}O_{55,506}$.

4. Алгоритм расчета коэффициента соотношения компонентов топлива (К)

1) В качестве окислителя в исследуемой системе используется атмосферный воздух. В качестве горючего – смесь углеводородосодержащей жидкости (УЖ), воды, продуктов сгорания газогенератора.

Массовые расходы продуктов сгорания и УЖ остаются постоянными и равными $\dot{m}_{H_2O} = 42$;

$$\dot{m}_{ПС} = 12; \dot{m}_M = 4.$$

В ситуации полного отсутствия воды в УЖ массовый расход балластирующей воды принимается равным: $\dot{m}_{H_2O} = 21$.

Массовый расход воды при различном процентном содержании воды в отходах [1]:

$$(1\%)_{H_2O} = 0,04, \dot{m}_{H_2O} = 20,96. \quad (9)$$

2) Весовые доли продуктов сгорания, масла и воды рассчитываются по формулам:

$$\dot{m}_{ПС} = 12, \dot{m}_M = 4;$$

$$g_{ПС} = \frac{\dot{m}_{ПС}}{\dot{m}_{ПС} + \dot{m}_M + \dot{m}_{H_2O}} = \frac{12}{12 + 4 + 21} = 0,324;$$

$$g_M = \frac{\dot{m}_M}{\dot{m}_{ПС} + \dot{m}_M + \dot{m}_{H_2O}} = \frac{4}{37} = 0,108;$$

$$g_{H_2O} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_{ПС} + \dot{m}_M + \dot{m}_{H_2O}} = \frac{21}{37} = 0,5675. \quad (10)$$

3) Дополнительно рассчитываются весовые доли веществ в смеси УЖ и воды ($C_{30}H_{58}S + H_2O$) при различном содержании воды в отходах [3]. Полученные данные сведем в табл. 1.

4) Аналогично определяются весовые доли компонентов для воды (H_2O), УЖ ($C_{30}H_{58}S$) и смеси

продукты сгорания (ПС) – воздух ($C_3H_8 + C_4H_{10} +$ воздух). Полученные данные сведем в табл. 2.

5) Для смеси УЖ, воздуха и продуктов сгорания газогенератора (ПС) при различном процентном содержании воды рассчитываются весовые доли компонентов по выше приведенному алгоритму.

6) Массовый коэффициент стехиометрического соотношения компонентов для сжигания смеси газов и нефтепродуктов (масел) отходов [1]:

$$K_0 = \left(\frac{8}{3} g_C^M + 8 g_H^M + g_S^M + g_O^M \right) / g_O, \quad (11)$$

где g_i^M – весовые доли элементов, содержащихся в нефтепродуктах УЖ, найденные в соответствии с алгоритмом.

7) Коэффициент весового отношения компонентов [1]:

$$K = \alpha K_0. \quad (12)$$

В табл. 3 сведем значения весовых долей компонентов смеси, коэффициентов K и K_0 при различном содержании воды в смеси.

Выводы

В результате экспериментальных исследований вредных выбросов из дымовой трубы установки получены зависимости измеряемых компонентов газа и температуры газа от процентного содержания воды в углеводородсодержащих жидкостях. С целью выяснения состава продуктов сгорания углеводородной смеси и весовых долей вредных примесей проведен термодинамический расчет реактора. На основе результатов термодинамического расчета определены необходимые значения действительного коэффициента весового соотношения окислителя и горючего в реакторе установки.

Литература

1. Бернадинер, М. Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М. Н. Бернадинер, А. П. Шурыгин. – М.: Химия, 1990. – 302 с.
2. Состав и строение продуктов переработки нефти и нефтехимического синтеза / Отв. ред. В. Д. Милованов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1989. – 146 с.

ТЕПЛОПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ СТЕНКУ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЕЕ АДАПТАЦИЯ

Е.Е. Торопов, Л.Е. Лымбина

Одной из важных задач в области усовершенствования тепловых агрегатов является задача разработки, исследования и создания энергосберегающего оборудования для реконструкции действующих и реализации новых эффективных тепло-технологических процессов и систем. Эта задача для своего плодотворного решения требует разработки и формирования эффективной методологии построения математических моделей теплофизических процессов и их реализации.

Нестационарный режим работы теплопередающей стенки свойственен теплообменным аппаратам периодического типа; тепловые агрегаты непрерывного действия переходят в нестационарный тепловой режим в период пуска, останова и в переходных режимах. В литературе отсутствуют рекомендации по расчету параметров нестационарного теплового режима теплопередающей стенки, применение в этих условиях классических методов решения задач теплофизики, например, метода Фурье, наталкивается на серьезные математические трудности при определении констант интегрирования при усложненных граничных и начальных условиях.

1. Основные положения метода

В работах [1, 2] выведены основные уравнения переноса теплоты через плоскую стенку в динамическом режиме, характеризуемом переменными условиями подвода или отвода теплоты, как в отношении температур сред, так и тепловых потоков между поверхностями стенки и средами.

Уравнение связи между изменением теплового потока на стенку в изображениях по Лапласу $J_1 \equiv L(\delta q/q_0)$, и переменной температурой стенки $\vartheta_{c1} \equiv \delta t_{c1}/\Delta t_{c0}$ имеет вид

$$\vartheta_{c1} = W_{11} J_1 = \frac{d_0 + d_1 p}{1 + a_1 p} J_1, \quad (1)$$

где $\delta t_{c1} = t_{c1} - t_{c10}$ – отклонение t_{c1} от стационарного значения в динамическом режиме $\Delta t_{c0} = \Delta t_{c10} - \Delta t_{c20}$ – перепад температур между поверхностями стенки в стационарном режиме, °C;

$$d_0 = \frac{1 + \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_2};$$

$$d_1 = \frac{\alpha_1}{6(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_2)};$$

$$a_1 = \frac{1 + (\alpha_1 + \alpha_2)/2 + \alpha_1 \alpha_2/6}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_2};$$

числа массивности стенки толщиной Δx , м, со стороны горячей (индекс «1») и холодной среды (ин-

декс «2») при конвективном механизме теплоотдачи являются числами Био $\alpha_1 \equiv Bi_1 = \alpha_1 \Delta x / \lambda$; $\alpha_2 \equiv Bi_2 = \alpha_2 \Delta x / \lambda$. При радиационном механизме теплоотдачи, например, со стороны горячей среды с температурой $T_{10} = t_{10} + 273$, число термической массивности определяется по формуле:

$$\alpha_1 = 4T_{10}^4 \frac{t_{c10} - t_{c20}}{T_{10}(T_{10}^4 - T_{c10}^4)} \approx \frac{4\Delta t_{c0}}{T_{10}}.$$

Изменение условий теплопереноса можно оценить в виде ступенчатого изменения плотности теплового потока δq относительно стационарного значения q_0 , причем кратность изменения плотности теплового потока определяется по зависимости

$m = \frac{\delta q + q_0}{q_0} = \frac{\delta q}{q_0} + 1$, откуда $\delta q/q_0 = m - 1$, тогда, в соответствии с (1)

$$\vartheta_{c1} = (m - 1) \frac{d_0 + d_1 p}{p(1 + a_1 p)},$$

где $(m - 1)/p$ – сигнал изменения плотности теплового потока в m раз, p – аргумент во временной области изображений по Лапласу.

Переходная характеристика, то есть реакция ϑ_{c1} на изменение q в области безразмерного времени $Fo = \alpha \tau / \Delta x^2$, определяется по формуле

$\vartheta_{c1}(Fo) = L^{-1}\{(m - 1)W_1/p\} = (m - 1)L^{-1}\{W_1/p\}$, или при использовании таблиц обратного преобразования Лапласа [3–6]

$$\vartheta_{c1}(Fo) = (m - 1) \left[d_0 \left(1 - \exp \frac{-Fo}{a_1} \right) + \frac{d_1}{a_1} \exp \frac{-Fo}{a_1} \right].$$

При подстановке значений d_0 , d_1 , a_1 получаем выражение для определения ϑ_{c1} при ступенчатом изменении плотности теплового потока q_1 в m раз

$$\vartheta_{c1}(Fo) = (m - 1) f(\alpha_1, \alpha_2, Fo),$$

где

$$f(\alpha_1, \alpha_2, Fo) = \frac{1 + \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_2} (1 - \exp D) + \frac{\alpha_1 \exp D}{1 + 0,5(\alpha_1 + \alpha_2) + \alpha_1 \alpha_2 / 6},$$

при переходе от $\vartheta_{c1} = (t_{c1} - t_{c10})/\Delta t_{c0}$ к t_{c1} при

$$D = - \frac{(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_2) Fo}{1 + 0,5(\alpha_1 + \alpha_2) + \alpha_1 \alpha_2 / 6},$$

с учетом зависимости $q_0 = \lambda \Delta t_{c0} / \Delta x$, получим

$$t_{c1}(Fo) = t_{c10} + (m - 1) q_0 \Delta x f(\alpha_1, \alpha_2, Fo) / \lambda, \quad (2)$$

где функция $f(\alpha_1, \alpha_2, Fo)$ отражает реакцию температуры стенки t_{c1} на ступенчатое увеличение

плотности теплового потока в m раз; при замене однородной стенки с теплопроводностью λ и толщиной Δx на многослойную с λ_i и Δx_i , соответственно $\Delta x/\lambda$ заменяется на $\sum_i \Delta x_i/\lambda_i$ в (2) и при расчете α_1 и α_2 .

Разработанный метод позволяет определить интервал времени от момента ступенчатого увеличения q_1 до момента достижения t_{cl} предельного значения t_{cl}^{np} , определяемого по условиям термической надежности рабочей поверхности стенки относительно оплавления, деструкции материала, термической эрозии и т.д. Для этого в левую часть зависимости (2) подставляется t_{cl}^{np} , и уравнение решается относительно Fo_{np} .

$$Fo_{np} = \frac{1}{C_3} \ln \frac{C_2(m-1)q_0\Delta x/\lambda}{C_2(m-1)q_0\Delta x/\lambda - (t_{cl}^{np} - t_{cl0})},$$

где

$$C_1 = d_0;$$

$$C_2 = C_1 \frac{\alpha_1}{1 + 0,5(\alpha_1 + \alpha_2) + \alpha_1\alpha_2/6};$$

$$C_3 = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_1\alpha_2}{1 + 0,5(\alpha_1 + \alpha_2) + \alpha_1\alpha_2/6}.$$

Для практических расчетов можно предварительно рассчитать область значений коэффициентов C_1, C_2, C_3 ; в таблице приведены значения C_1 при изменении чисел массивности $\alpha_{1,2} = 0,01-100$.

Размерное время достижения t_{cl}^{np} с учетом

$$Fo = a\tau/\Delta x^2, \quad a = \lambda/(\rho c)$$

$$\tau_{np} = \frac{\Delta x^2}{aC_3} \ln \frac{C_2(m-1)}{C_1(m-1) - \Delta t_{cl}^{np}/\Delta t_0}, \quad (3)$$

для многослойной стенки $\tau = Fo \sum_i a_i/\Delta x_i^2$, где a_i

– коэффициент температуропроводности материала слоя, $m^2/ч$, Δx_i – толщина слоя, m ; $\Delta t_{cl}^{np} = t_{cl}^{np} - t_{cl0}$.

Используя выражение (3), можно осуществить выбор теплозащитного материала, обеспечивающего надежную работу высокотемпературной стенки, для чего необходимо поставить условие $\tau_{np} \rightarrow \infty$, тогда $C_1(m-1) - \Delta t_{cl}^{np}/\Delta t_0 = 0$ и $m = 1 + \Delta t_{cl}^{np}/\Delta t_0$. Термическая надежность теплозащитного покрытия будет обеспечена, если

$$t_{cl}^{np} \geq C_1(m-1)\Delta t_0 + t_{cl0} = t_{cl0} + \delta t_{cl}, \quad (4)$$

что определяется температурой в стационарном режиме t_{cl0} и увеличением температуры $\delta t_{cl} = C_1(m-1)\Delta t_0 = C_1(m-1)q_0\Delta x/\lambda$. Громоздкость промежуточных соотношений компенсируется относительно простым расчетом по формуле (4), особенно, если предварительно рассчитать C_1 .

Разработанный метод позволяет определить реакцию теплопередающей стенки на изменение теплового потока q_1 или q_2 , описываемое любой аналитической функцией, интегрируемой целиком или по частям. Для этого необходимо соответствующую передаточную функцию умножить на L -изображение сигнала изменения входной величины. Так, если входная величина изменяется по синусоидальному закону $A_m \sin(\omega\tau)$, причем $L\{A_m \sin(\omega\tau)\} = A_m \omega/(p^2 + \omega^2)$, где ω – циклическая частота сигнала, то изменение результирующего теплового потока на входе в стенку q_1 , при изменении вынужденного теплового потока, связанного с изменением температуры горячей среды, определяется по формуле:

$$q_1(\tau) = L^{-1}\{W_{11}J_1^*\} = U \left[(c_0/c_p a_p + \omega^2) \sin \omega\tau + \omega(1/a_p - c_0/c_p) (\cos \omega\tau - \exp(-\tau/a_p)) \right], \quad (5)$$

где

$$U = A_m c_p / \left((1/a_p)^2 + \omega^2 \right) a_p \omega;$$

$$c_p = (\Delta x)^2 \rho c (1 + 0,5\alpha_2) / (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_2\alpha_1) \lambda;$$

$$c_0 = \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_2\alpha_1);$$

$$a_p = (\Delta x)^2 \rho c \frac{1 + 0,5(\alpha_1 + \alpha_2) + \alpha_1\alpha_2/6}{(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_2\alpha_1) \lambda}.$$

2. Адаптация полученной модели

Численное моделирование переходных процессов в теплопередающей стенке при синусоидальном входном сигнале было произведено по специальной программе, написанной на языке Pascal в среде Borland Delphi 7. Были промоделированы переходные процессы в шамотной стенке термической печи, в стенке водоохлаждаемой фурмы доменной печи (рис. 1) и в стенке рекуперативного теплообменника при характерных для этих элементов параметрах массивности (рис. 2).

На рис. 1 представлены результаты для стенки дутьевой фурмы доменной печи толщиной $\Delta x = 0,01$ м при $\lambda = 385$ Вт/м $^\circ$ С при синусоидальном изменении теплового потока, связанном, например, с попаданием жидких продуктов плавки на поверхность фурмы. Коэффициент теплоотдачи из фурменной зоны, приведенный к конвективному механизму принят равным $\alpha_1 = 1,0, 2,0, 3,0$ кВт/м 2 · $^\circ$ С; принято, что струи жидкометаллического расплава попадают на поверхность фурмы с циклической частотой $\omega = 0,628$ рад/с, то есть с периодом $T = 10$ с; коэффициент теплоотдачи в охлаждающую воду принят равным $\alpha_2 = 1,0, 2,5, 5,0$ кВт/м 2 · $^\circ$ С, что соответствует однофазной конвекции и поверхностному кипению в условиях недогрева. Расчеты показали, что при увеличении α_1 до 3,0 кВт/м 2 · $^\circ$ С амплитудное снижение для результирующего теплового потока изменяется от 0,95 до 0,88, изменение α_2 практически не оказывает влияния – кривые

Значения параметра C_1 в функции чисел массивности α_1, α_2

		α_2								
		0,10	0,25	0,50	0,75	1,0	2,5	5,0	7,5	10,0
α_1	0,10	5,238	2,933	1,692	1,189	0,917	0,386	0,196	0,132	0,099
	0,25	3,333	2,222	1,429	1,053	0,833	0,370	0,192	0,130	0,098
	0,50	2,308	1,714	1,200	0,923	0,750	0,353	0,187	0,129	0,097
	0,75	1,892	1,474	1,077	0,848	0,700	0,341	0,184	0,126	0,096
	1,0	1,576	1,333	1,000	0,800	0,667	0,333	0,182	0,125	0,095
	2,5	1,222	1,037	0,823	0,683	0,583	0,311	0,175	0,122	0,093
	5,0	1,071	0,923	0,750	0,632	0,545	0,300	0,171	0,120	0,092
	7,5	1,018	0,883	0,723	0,613	0,531	0,296	0,170	0,119	0,092
	10,0	0,99	0,862	0,710	0,603	0,524	0,227	0,169	0,119	0,092

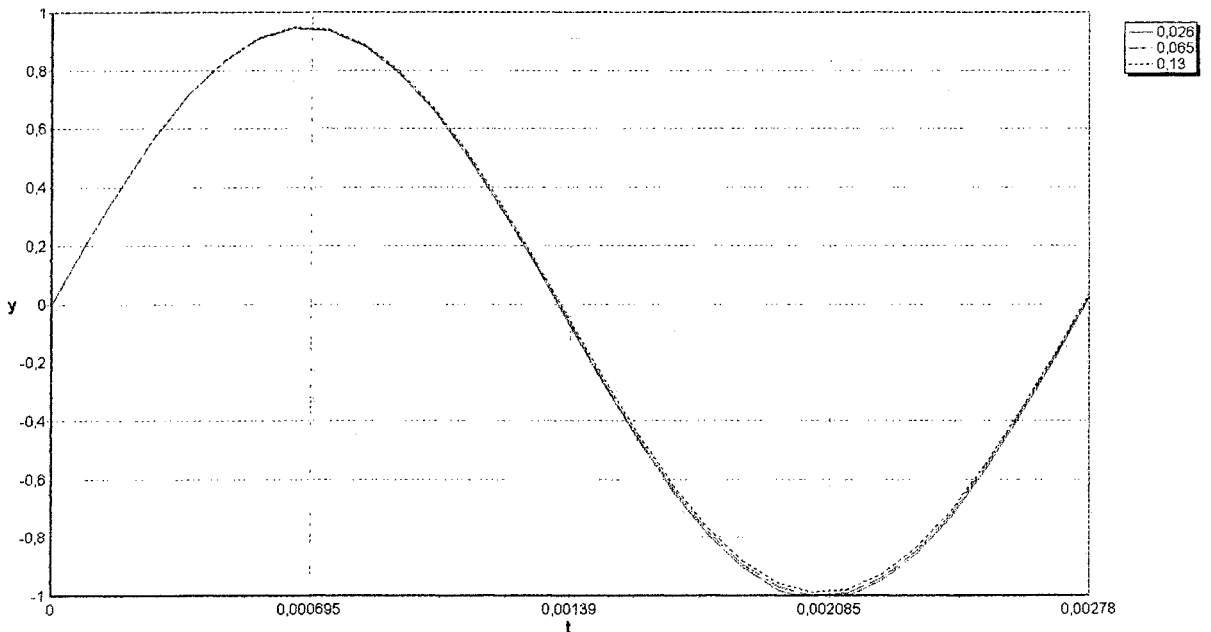


Рис 1. Переходные функции при синусоидальном изменении плотности вынужденного теплового потока для стенки воздушной фурмы. Толщина стенки – 0,01 м, параметры массивности – 0,026 и 0,026

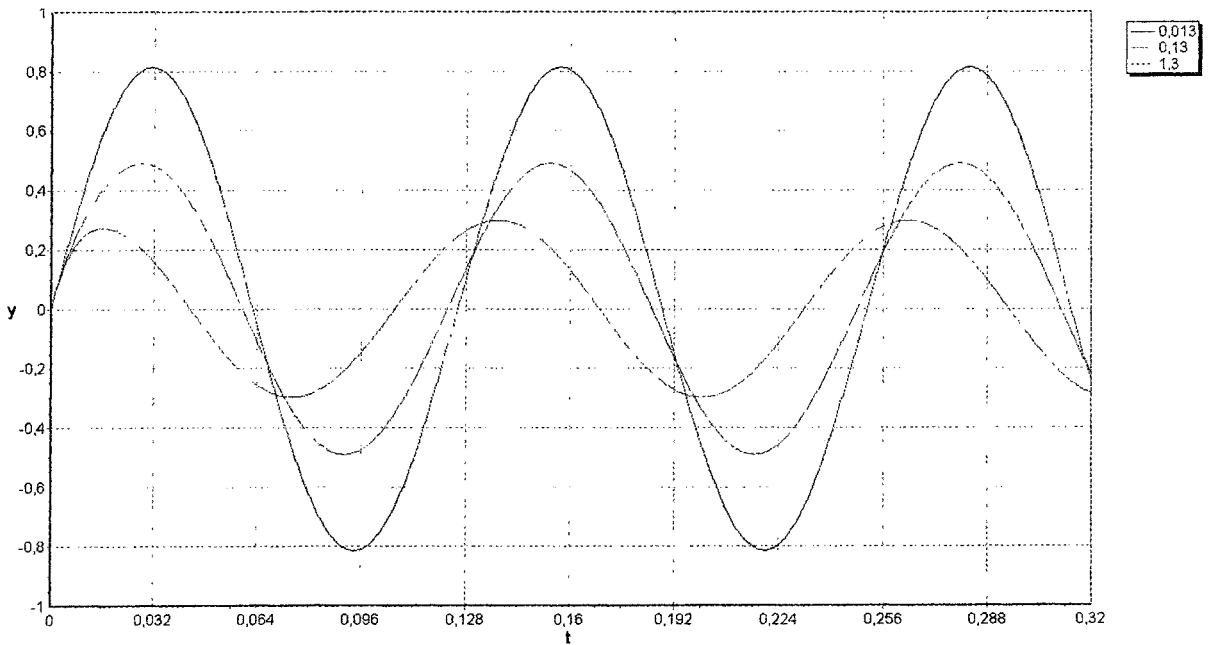


Рис 2. Переходные функции при синусоидальном изменении плотности вынужденного теплового потока для стенки рекуперативного теплообменника. Параметры массивности – 0,13 и 0,013

для разных α_2 сливаются на графике, увеличение толщины стенки в 5 раз от $\Delta x = 0,01$ м до $\Delta x = 0,05$ м изменяет амплитуду на 2,0–4,0 %.

На рис. 2 показаны результаты численного моделирования динамики изменения теплового потока через стальную стенку рекуперативного теплообменника $\Delta x = 0,005$ м при $\lambda = 37,7$ Вт/м·°С при частоте $\omega = 50$ рад/с ($T = 452$ с). Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 варьируются в пределах 10^2 ; 10^3 ; 10^4 Вт/м²·°С, что соответствует теплообмену с газообразным теплоносителем, с перегретым паром, с насыщенным паром и кипящей водой. Заметно сильное влияние коэффициента теплоотдачи в охлаждающую воду α_2 .

Заключение

Разработанная математическая модель теплопереноса через стенку в динамическом режиме и ее адаптация могут служить надежным методом оценки теплозащитных свойств элементов ограждений тепловых агрегатов.

Зная свойства материала стенки, t_{cl}^{np} , λ , a , можно рассчитать толщину стенки Δx , обеспечивающую надежную работу охлаждаемого элемента при различной кратности увеличения теплового потока m при фиксированной интенсивности охлаждения α_2 . Либо определить необходимую интенсивность охлаждения α_2 при фиксированной толщине стенки Δx и выбрать материал, обладающий определенными теплофизическими свойствами и предельной температурой эксплуатации t_{cl}^{np} .

В том случае, если стенка теплового агрегата испытывает циклическое изменение температуры среды в рабочем пространстве $t_{ж1} = A_m \sin(\omega \tau)$, то, используя формулу (5), можно определить изменение результирующего теплового потока q_1 на поверхность стенки. Аналогично решается задача определения t_{cl} в циклическом режиме, причем ясно, что для определения условия надежной работы материала стенки достаточно определить амплитуду колебаний t_{cl} .

Литература

1. Лымбина, Л. Е. Перенос тепла через стенку воздушной фурмы в нестационарном режиме / Л. Е. Лымбина, Ю. Г. Ярошенко // Известия вузов. Черная металлургия. – 1986. – № 4. – С. 112–115.
2. Лымбина, Л. Е. Изменение температуры стенки воздушной фурмы при контакте с жидким металлом / Л. Е. Лымбина, Ю. Г. Ярошенко // Известия вузов. Черная металлургия. – 1986. – № 10. – С. 103–107.
3. Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
4. Торопов, Е. Е. Математическое моделирование нестационарных процессов теплопереноса в ограждениях тепловых агрегатов / Е. Е. Торопов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2007. – 162 с.
5. Торопов, Е. Е. Выбор оптимальной толщины слоя изоляции сложной формы / Е. Е. Торопов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2006. – 120 с.
6. Швыдкий, В. С. Математические методы теплофизики / В. С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев, В. С. Шаверин. – М.: Машиностроение, 2001.

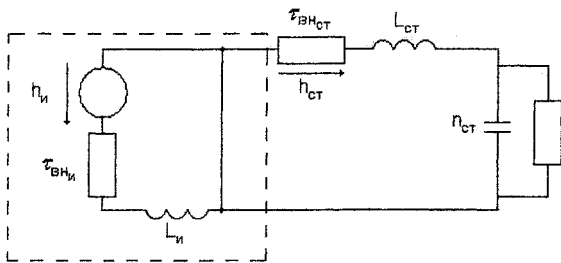
ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ ПЕРСОНАЛА ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ

В.С. Жабреев, Т.Н. Акулова

Анализ производственного электротравматизма на предприятиях ЮУЖД показал, что подавляющее большинство причин несчастных случаев (более 80 %) связаны с незнанием, использованием недостоверной или неполной информации при принятии решений, недобросовестным и небрежным исполнением ими обязанностей, самоуверенностью, суетливостью, то есть человеческим фактором.

Человеческий фактор не поддается точным подсчетам, так как ему свойственна случайность, но в то же время он может быть оценен в определенных пределах.

Схема информационной ригидной цепи с последовательной памятью и источником информации в комплексной форме представлена на рисунке.



Ригидная информационная цепь с последовательной памятью

Если рассматривать человека в качестве элемента информационной цепи, то ему непременно будут присущи все выше перечисленные характеристики, которые практически можно измерить в результате эксперимента, в результате чего будет выявлено взаимное влияние этих характеристик

В работе получена формула определения информационных параметров обучаемого или тестируемого, которая полезна при оценки знаний и профессиональной пригодности работника, включающий измерение времени, которое исчисляют с момента выхода информации в виде вопросов от источника информации до момента получения последним сигнала обратной связи от обучаемого или тестируемого человека, содержащего сформированные ответы, определение по результатам измерений характеристик информационных процессов в замкнутой системе с помощью метода информационного анализа систем, по которым определяют следующие информационные параметры обучаемого или тестируемого человека: информационное сопротивление τ ; информационную ригидность L ; информационную память n , согласно изобретению осуществляют измерение периодов T времени реакции обучаемого или тестируемого

человека на полученную информацию при задании различных круговых частот ω , при тестировании в виде последовательности «вопрос-ответ», определяют действующие информационные напряжение и ток, по которым определяют модуль информационного сопротивления $|Z|$ [1–4].

Особенность способа заключается в том, что при восприятии информации каждое слово характеризуется определенной количественной характеристикой (например, бит). При это следует учитывать, что «емкость» каждого слова не одинаковая. Часть информации является новой для слушателя, поэтому возникают определенные трудности при ее восприятии ($I_k \sin(\omega t) + \varphi$). Благодаря этому подходу можно оценить не только скорость передачи информации, но и способ ее передачи.

Анализ режимов в информационных цепях значительно упростится, если воспользоваться комплексными числами.

Сущность метода состоит в том, что уравнения электрического состояния мгновенного значения информационного тока и напряжения на всех участках заменяются комплексными. Мгновенное значение напряжение на резисторном участке с сопротивлением R заменяется комплексом $\dot{U}_R = R\dot{I}$ по фазе совпадающим с током \dot{I} . Мгновенное напряжение на участке с индуктивностью L заменяется комплексом $j\omega L\dot{I}$. Оператор j , здесь как множитель, указывает на то, что вектор напряжения \dot{U}_L повернут на угол $+\pi/2$ по отношению к вектору \dot{I} . Следовательно, если на комплексной плоскости вектор напряжения \dot{U}_L направлен по оси действительных значений, то вектор тока \dot{I} направлен по мнимой оси $-j$. При этом, если вектор \dot{U}_L занимает любое другое положение на комплексной плоскости, вектор тока \dot{I} будет занимать по отношению к вектору U_L положение, определяемое углом $-\pi/2$.

Контурное уравнение электрического состояния цепи при последовательном соединении элементов R , L , и C , записанное в комплексной форме, имеет вид

$$\dot{U} = R\dot{I} + j\omega L\dot{I} - \frac{j\dot{I}}{\omega C} = (R + jX_L - jX_C)\dot{I} = Z\dot{I}; \quad (1)$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{\dot{U}}{[R + j(X_L - X_C)]} = \frac{\dot{U}}{R + jX}, \quad (2)$$

где Z – комплексное сопротивление цепи.

Таким образом, информационное сопротивление представлено в комплексной форме:

$$|\bar{Z}| = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}; \quad (3)$$

$$Z = r + j\omega L - \frac{j}{\omega C}. \quad (4)$$

В общем случае комплекс полного сопротивления в показательной форме \bar{Z} состоит из модуля комплекса (4) и аргумента φ , который определяется разностью углов начальных фаз напряжения (ψ_u) и тока (ψ_i),

$$\bar{Z} = |Z|e^{j\varphi}. \quad (5)$$

Выводы

Преимущества оценки информационных параметров в комплексной форме

1. Оценка человеческого фактора в комплексной форме позволяет учесть импульсный характер информационного процесса (тока), например, при обучении и тестировании – «вопрос – ответ».

2. Оценка человеческого фактора характеризуется одним параметром, который объединяет три основных характеристики человеческого фактора – r , L , n .

3. Это позволяет рассчитывать сложные информационные цепи с учетом импульсных харак-

теристик процессов, для теоретических расчетов и моделирования, включающих человека.

4. Скорость передачи информации (1) оценивается не как средняя характеристика, а как $i = I_{\max} \sin \omega t$ – где оценивается круговая частота. Т.е. благодаря этому подходу, можно оценить не только скорость передачи информации, но и способ передачи информации.

Литература

1. Бухтояров, В. Ф. Роль человеческого фактора в обеспечении безопасности на производстве. Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: Сб. Второй всероссийской научно-практической конференции / В. Ф. Бухтояров. – Челябинск: Изд. ЗАО «Челябинская межрайонная типография», 2003. – 280 с.
2. Перелет, Р. А. Технологический риск и обеспечение безопасности производства / Р. А. Перелет, Г. С. Сергеев. – М.: Знание, 1988. – 64 с.
3. Жабреев, В. С. Элементы теории больших систем (теория информационных цепей в управлении) / В. С. Жабреев, И. А. Рыжков, К. В. Федяев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 89 с.
4. Денисов, А. А. Теория больших систем управления / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

С.А. Повитухин

В процессе непрерывной разливки жидкий металл заливают в интенсивно охлаждаемую сквозную форму – кристаллизатор, основное назначение которого состоит в формировании поверхностной корочки слитка и профиля заготовки.

Анализ литературных источников показывает, что при рассмотрении процессов, происходящих в кристаллизаторе МНЛ, рассматриваются, или плоскопараллельные стационарные модели, или на поверхностях слитка и кристаллизатора задаются коэффициенты теплопередачи по высоте стенки, либо величина потока тепла. Математическая модель, построенная на этих упрощениях, дает большие погрешности, что не позволяет эффективно управлять процессом формирования профиля заготовки в кристаллизаторе. Для создания автоматизированной системы управления МНЛЗ нами разработана нестационарная пространственная математическая модель охлаждения слитка в кристаллизаторе [1–3] и на её основе создан пакет программ, позволяющих моделировать процесс производства заготовок.

Введение понятия турбулентной теплопроводности λ_m позволяет достаточно точно моделировать тепловой поток в жидкости, используя теорию пограничного слоя [3]. Количество тепла, отведенного водой, зависит от λ_m . λ_m определена из численного эксперимента. Промоделирована зависимость λ_m от средней скорости воды в каналах кристаллизатора. При разливке металла под шлаком смазка при трении и тепловую изоляцию оболочки слитка в кристаллизаторе осуществляет гарнисаж [2]. Характеристики используемой шлакообразующей смеси (ШОС) существенно влияют на тепловое состояние слитка и, следовательно, качество его поверхности. Критерии оптимальности температурного поля слитка вводятся на основании качественных рекомендаций о желательном распределении температуры в затвердевающем непрерывном слитке. Предполагается, что слитки с лучшими температурными полями характеризуются меньшими значениями критериев и более высоким качеством [4]. В таблице приведены средние значения температур, поток и толщины корочки, полученные по результатам расчетов при наиболее и наименее рациональном выборе ШОС; L – длина кристаллизатора.

Анализ полученных данных показывает, что выбором ШОС можно изменять величину теплового потока до 3 раз. Средняя толщина корочки при этом увеличивается не более чем в 1,5 раза. При этом значения критериев оптимальности изменяются в 4–7 раз, что приведет к снижению качества поверхности слитка и крайне нежелательно.

Параметры, полученные по результатам расчетов

Наименование	Min	Max
Поток при $L = 1000$ мм	308 кДж/(м ² с)	842 кДж/(м ² с)
Поток при $L = 600$ мм	356 кДж/(м ² с)	995 кДж/(м ² с)
Средняя температура	1385 °С	1050 °С
Средняя толщина корочки	19 мм	29 мм

По результатам расчетов были сделаны следующие выводы [5]: максимальная толщина рабочей поверхности стенки зависит от характеристики используемой ШОС и может колебаться от 20 до 50 мм; правильным подбором параметров ШОС можно повысить скорость вытягивания слитка до 1,5 м/мин; теплофизические характеристики разливаемого металла в основном влияют на толщину корочки металла на выходе из кристаллизатора.

Литература

1. Повитухин, С. А. Математическая модель процесса затвердевания сплава в кристаллизаторе / С. А. Повитухин // *Литейные процессы: Межрегион. сб. науч. тр. – Магнитогорск, ГОУ ВПО «МГТУ», 2000. – С. 102–107.*
2. Вдовин, К. Н. Моделирование толщины и скорости движения гарнисажа в кристаллизаторе МНЛЗ / К. Н. Вдовин, С. А. Повитухин // *Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Б. Н. Парсункина. – Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2006. – С. 129–133.*
3. Повитухин, С. А. Моделирование водяного охлаждения кристаллизатора / С. А. Повитухин // *Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Б. Н. Парсункина. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – С. 133–138.*
4. Вдовин, К. Н. Определение оптимальных режимов при непрерывной разливке стали / К. Н. Вдовин, С. А. Повитухин // *Теория и технология металлургического производства: Сб. науч. тр. / Под ред. В. М. Колокольцева. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2005. – С. 122–128.*
5. Повитухин, С. А. Влияние параметров шлакообразующей смеси на толщину рабочей стенки кристаллизатора / С. А. Повитухин // *Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: Сб. науч. тр. – Магнитогорск, ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – С. 106–110.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АКУЛОВА Татьяна Николаевна – старший преподаватель кафедры вычислительной техники Челябинского института путей сообщения – филиала Уральского государственного университета путей сообщения.

АЛЕШИН Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления ЮУрГУ.

БАРБАСОВА Татьяна Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики и управления ЮУрГУ.

ВАУЛИНА Ольга Сергеевна – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры систем управления ЮУрГУ.

ВАХРОМЕЕВ Иван Евгеньевич – начальник паросилового цеха ОАО «ММК».

ГОЙТИНА Екатерина Владимировна – ассистент кафедры автоматики и управления ЮУрГУ.

ДЕНИСЕНКО Юрий Николаевич – аспирант кафедры теплогоснабжения и вентиляции ЮУрГУ.

ДИВНИЧ Петр Николаевич – аспирант кафедры автоматики и управления ЮУрГУ.

ЖАБРЕЕВ Вячеслав Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники Челябинского института путей сообщения – филиала Уральского государственного университета путей сообщения, заслуженный работник высшей школы РФ.

ЗИНКЕВИЧ Алина Сергеевна – исполняющая обязанности доцента кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах ЮУрГУ.

КАЗАРИНОВ Лев Сергеевич – доктор технических наук, профессор, декан приборостроительного факультета ЮУрГУ, заведующий кафедрой автоматики и управления ЮУрГУ, научный консультант администрации Челябинской области.

КАРМАНОВ Юрий Трофимович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой цифровых радиотехнических систем ЮУрГУ, академик РАЕН.

КАЦАЙ Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры приборостроения ЮУрГУ.

КОЗЛОВ Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах ЮУрГУ.

КУВШИНОВ Борис Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики ЮУрГУ.

КУЗНЕЦОВ Андрей Геннадьевич – заместитель генерального директора – директор Межрегионального филиала сотовой связи ОАО «Урал-связьинформ».

ЛОГИНОВСКИЙ Олег Витальевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах ЮУрГУ, академик РАЕН.

ЛЫМБИНА Людмила Ефимовна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплогоснабжения и вентиляции ЮУрГУ.

ЛЫСОВ Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой приборостроения ЮУрГУ, действительный член Международной академии навигации и управления движением.

МАКСИМОВ Александр Александрович – кандидат технических наук, вице-президент Урало-Сибирской горно-металлургической компании, генеральный директор ОАО «Кузнецкие ферросплавы».

ПАНФЕРОВ Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплогоснабжения и вентиляции ЮУрГУ.

ПОВИТУХИН Сергей Алексеевич – начальник отдела АСУ информационно-вычислительного центра Магнитогорского государственного университета.

СЕРГЕЕВ Дмитрий Вакильевич – инженер кафедры приборостроения ЮУрГУ.

СТУКАЧ Олег Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Томского политехнического университета.

СУХОВИЛОВ Борис Максович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой информатики ЮУрГУ.

ТЕЛЕЖКИН Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехнических системы ЮУрГУ.

ТОРОПОВ Евгений Евгеньевич – аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции ЮУрГУ.

ШЕСТАКОВ Александр Леонидович – доктор технических наук, профессор, ректор ЮУрГУ, заслуженный работник высшей школы РФ.

ШИРЯЕВ Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой

прикладной математики ЮУрГУ, почетный работник высшей школы РФ, действительный член Международной академии навигации и управления движением.

ШНАЙДЕР Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и управления ЮУрГУ.

ЩИПИЦЫН Анатолий Георгиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем управления ЮУрГУ, действительный член Международной академии навигации и управления движением.

*Подписной индекс Вестника ЮУрГУ, серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»: 29008, объединенный каталог «Пресса России».
Периодичность выхода – 2 номера в год.*

*Информация о «Вестнике ЮУрГУ» и требования к оформлению статей
доступны в Интернет по адресу:
<http://www.susu.ac.ru/ru/science/publish/vestnik/>*

**ВЕСТНИК
ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
№ 23 (95) 2007**

**Серия
«КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ,
РАДИОЭЛЕКТРОНИКА»
Выпуск 6**

Издательство Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 19.11.2007. Формат 60×84 1/8. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 9,88. Тираж 500 экз. Заказ 405/80.

Отпечатано в типографии Издательства ЮУрГУ. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.