ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 3 (29)

Главный редактор
доктор экономических наук
профессор
Г. П. Беляков

Заместители главного редактора:
доктор технических наук
профессор
И. В. Ковалев

доктор технических наук
профессор
Л. Г. Шаймарданов

Редакционная коллегия:
С. С. Аплеснин
Е. Н. Головенкин
Ю. В. Ерыгин
М. В. Краев
В. Д. Лаптенок
А. Н. Ловчиков
А. В. Медведев
В. В. Москвичев
В. А. Охорзин
К. Г. Охоткин (отв. секретарь)
С. И. Сенашов
В. Г. Сомов

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

© Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2010
© Коллектив авторов, 2010

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

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

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

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

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки (http: //www.elibrary.ru) и сайте журнала (www.vestnik.sibsau.ru)
Журнал включен в каталоги:
российской прессы «Роспечать» (МАП) – 11399;
объединенный «Пресса России» – 39263

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

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

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

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

Редакторы Т. Е. Ильющенко, К. С. Мирошникова, О. А. Плехова, А. И. Эберле
Редактор английского текста Е. А. Гончаров
Компьютерная верстка М. А. Белоусовой
Подп. в печать 28.09.2010. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 20,75.
Уч.-изд. л. 38,8. Тираж 1000 экз. С 127/10 .
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Суховольской Ю. П.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2.

УДК 62.501

А. В. Медведев

ТЕОРИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ПРОЦЕССЫ

Продолжается изложение предыдущей работы автора [1]. Основное внимание уделено описанию процессов (объектов), которые не укладываются в традиционные формулировки задач идентификации. Они более адекватны многим реальным процессам, протекающим в технологических аппаратах, производстве, объектах различной природы, в том числе в организационных системах.

Ключевые слова: непараметрические оценки, непараметрические алгоритмы, идентификация, управление, дискретно-непрерывный процесс, сходимость.

Теория – в виду практики.
Девиз конгрессов IFAC

Искусство научного предвидения
не должно полагаться на абстрактное основание,
его задача расшифровать язык природы из документов
самой природы – фактов, опыта.
М. Борн

При изучении различного рода реальных процессов и объектов исследователь сталкивается с неполной информацией о последних, которая может существенно отличаться от реальности в зависимости от их характера, свойств, средств контроля и т. п. Это накладывает свой отпечаток при моделировании тех или иных процессов, включающих в себя априорную информацию о них, математическую постановку задачи, подходы и методы построения моделей, оценку адекватности полученной модели реально протекающему процессу. В зависимости от особенностей исследуемого процесса развиты различные подходы к идентификации и управлению [2–4].

Приведем достаточно общую схему исследуемого процесса, принятую в теории моделирования и идентификации [5; 6].

В рассматриваемой схеме (рис. 1) приняты следующие обозначения: $x(t)$ – векторная выходная переменная процесса; $u(t)$ – векторное управляющее воздействие; $\mu(t)$ – векторная входная переменная процесса; $\xi(t)$ – векторное случайное воздействие; (t) – непрерывное время; H^{μ}, H^{u}, H^{x} – каналы связи, соответствующие различным переменным, включающие в себя средства контроля, приборы для измерения наблюдаемых переменных; μ_t, u_t, x_t – означает измерение $\mu(t)$, $u(t)$, $x(t)$ в дискретное время. Контроль переменных (x, u, μ) осуществляется через интервал времени Δt, т. е. x_i, u_i, μ_i, $i = \overline{1, s}$ – выборка измерений переменных процесса $(x_1, u_1, \mu_1), (x_2, u_2, \mu_2), \ldots, (x_s, u_s, \mu_s), \ldots$; s – объем выборки; $h^{\mu}(t)$, $h^{x}(t)$, $h^{u}(t)$ – со значком вверху – случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса. В этом случае $x(t)$ определяется следующим образом:

$$x(t) = A(u(t), \mu(t), \xi(t), t), \tag{1}$$

где A – неизвестный оператор объекта.

Заметим, что выход объекта $x(t)$ зависит от всех входных переменных $u(t)$, $\mu(t)$, $\xi(t)$.

Более общая схема дискретно-непрерывного процесса приведена на рис. 2.

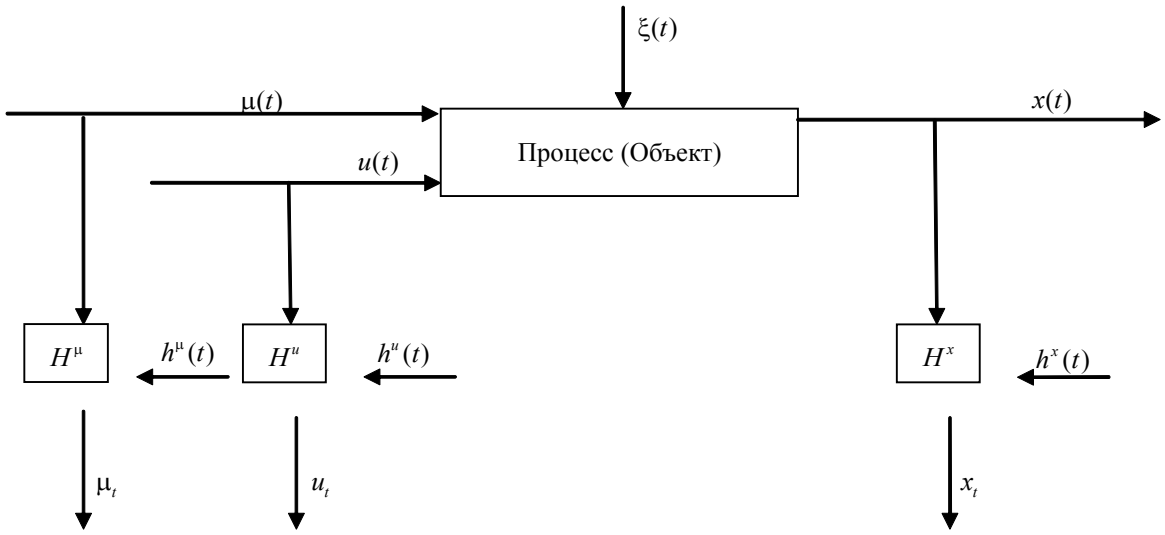


Рис. 1. Классическая схема стохастического процесса и контроля переменных

Здесь приняты те же обозначения, что и на рис. 1: $\omega^i(t)$: $i = 1, 2, ..., k$ – переменные процесса, контролируемые в том числе по длине объекта; H^{ω} – каналы связи, соответствующие различным переменным, включающие в себя средства контроля, приборы для измерения наблюдаемых переменных; ω_t – измерение $\omega(t)$ в дискретное время, представляет собой дополнительную информацию о процессе. Контроль переменных (x, ω, u, μ) осуществляется через интервал времени Δt, т. е. $x_i, \omega_i^1, ..., \omega_i^k, u_i, \mu_i$, $i = \overline{1, s}$ – выборка измерений переменных процесса $(x_1, \omega_1^1, ..., \omega_1^k, u_1, \mu_1)$, $(x_2, \omega_2^1, ..., \omega_2^k, u_2, \mu_2)$, …, $(x_s, \omega_s^1, ..., \omega_s^k, u_s, \mu_s), ...$; s – объем выборки; $h^{\omega}(t)$ – случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса. В этом случае $x(t)$ определяется не только значениями входных переменных, как в (1), но и $\omega(t)$ и может быть представлена в следующем виде:

$$x(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \xi(t), t). \quad (2)$$

Следующий шаг обобщения исследуемого процесса (рис. 2) состоит во введении новой входной переменной $\lambda(t)$ (рис. 3).

Входная переменная $\lambda(t)$ существенно отличается по своему содержанию от переменных $u(t)$, $\mu(t)$ и $\omega(t)$. Дело в том, что эта переменная не поддается измерению. Входная переменная $\lambda(t)$ может быть известна исследователю, но ее контроль осуществляется достаточно редко и в соответствии, как правило, со сложной и длительной процедурой измерения. В этом случае $x(t)$ определяется следующим образом:

$$x(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \lambda(t), \xi(t), t). \quad (3)$$

Моделирование процессов подобного типа существенно усложняется в зависимости от характера влияния $\lambda(t)$ на $x(t)$.

Приведем наиболее общую схему стохастического процесса, часто встречающегося во многих приложениях (рис. 4).

Отметим существенное отличие выходных переменных $z(t)$, $q(t)$ и $x(t)$, представленных на рис. 4. Выходная переменная $x(t)$ контролируется через интервалы времени Δt, $q(t)$ контролируются через существенно большие интервалы времени ΔT, z – через T ($T \gg \Delta T \gg \Delta t$). С практической точки зрения для исследуемого процесса наиболее важным часто является контроль переменных $z(t)$. Например, выходные переменные $x(t)$ контролируются с помощью различного рода индукционных, емкостных и других датчиков, $q(t)$ – на основе лабораторных анализов, а $z(t)$ – в результате длительного химического анализа, физико-механических испытаний и др. Этим и обусловлено существенное отличие дискретности контроля выходных переменных $x(t)$ и $z(t)$. Особенностью здесь является то, что измеренное значение выхода объекта станет известным только через определенные промежутки времени, этим объясняется запаздывание в измерениях выходных переменных объек-

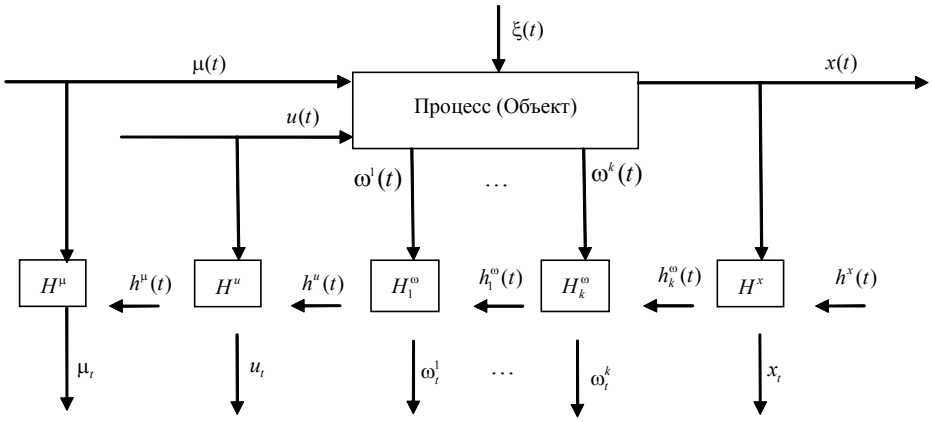


Рис. 2. Схема стохастического объекта, в том числе распределенного

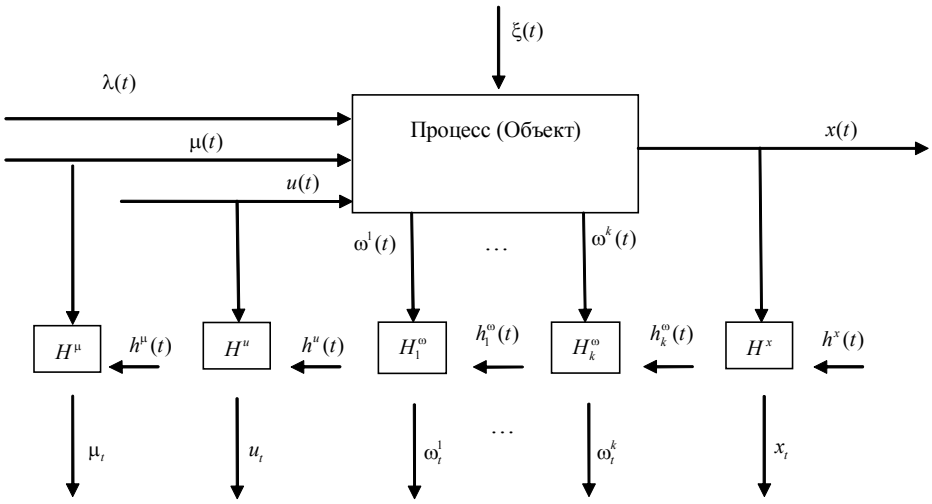


Рис. 3. Обобщенная схема стохастического процесса

та $x(t)$, $q(t)$ и $z(t)$. Δt, ΔT и T – дискретность, с которой происходят измерения.

В этом случае выходные переменные, как и ранее, зависят от входных и $\omega(t)$ (дополнительная информация), т. е. следующим образом:

$$x(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \lambda(t), \xi(t), t) . \quad (4)$$

При моделировании подобных процессов, учитывая различную дискретизацию контроля измерений $x(t)$, $q(t)$ и $z(t)$ при прогнозировании $q(t)$ и $z(t)$, естественно использовать весь набор переменных, влияющих на прогноз $q(t)$:

$$q(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \lambda(t), x(t), \xi(t), t) , \quad (5)$$

а при прогнозе $z(t)$:

$$z(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \lambda(t), x(t), q(t), \xi(t), t) . \quad (6)$$

Учитывая большие значения ΔT и T, значительно превышающих постоянные времени объекта, при моделировании придется учитывать, что процессы относятся к классу статических с запаздыванием, что значительно повышает их роль и значение в задачах идентификации стохастических систем.

Организационный процесс можно представить в виде схемы (рис. 5) [6].

Заметим, что к организационным процессам относятся такие, которые протекают с участием человека (коллектива). Это символизируют стрелки, помещенные внутри объекта (рис. 5). Контроль переменных $q(t)$ и $z(t)$ осуществляется, как и $x(t)$ (на рис. 5 не показан, чтобы не загромождать рисунок.) Переменная $\theta(t)$ представляет собой воздействие на объект внешней среды. Для организационных систем это могут быть какие-либо рас-

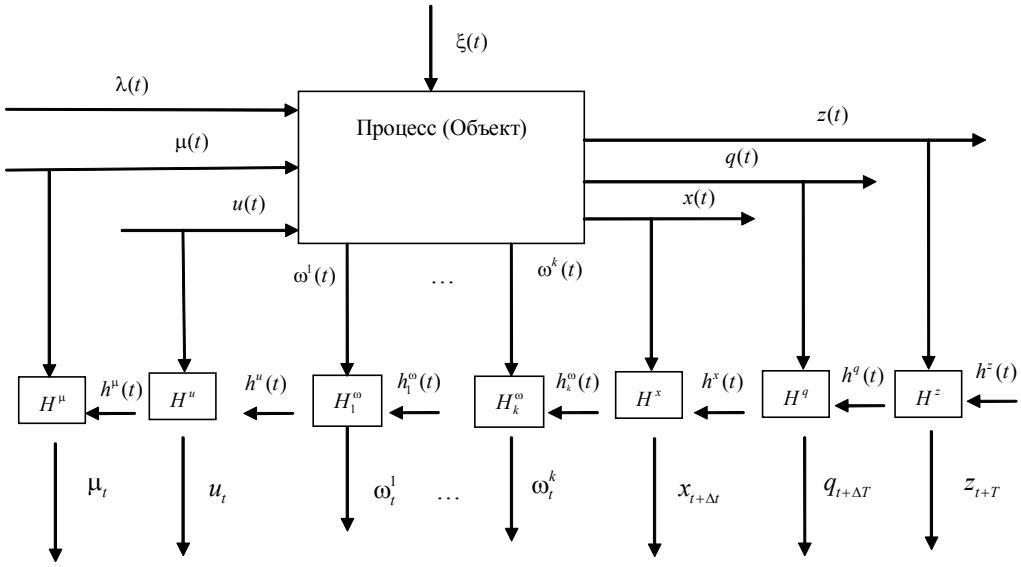


Рис. 4. Общая схема многомерного стохастического процесса

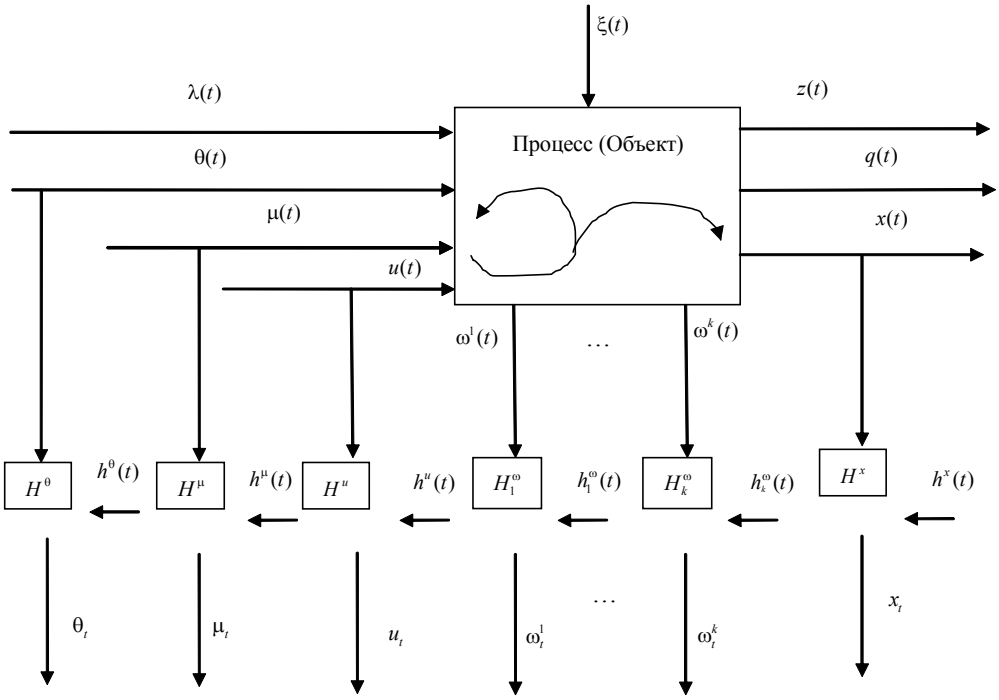


Рис. 5. Схема организационного процесса

поряжения, постановления, приказы, а также законодательные акты, которые с течением времени претерпевают те или иные изменения.

В этом случае $x(t)$ определяется следующим образом:

$$x(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \lambda(t), \theta(t), \xi(t), t). \quad (7)$$

При прогнозировании $q(t)$ целесообразно использовать следующие зависимости:

$$q(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \lambda(t), \theta(t), x(t), \xi(t), t), \quad (8)$$

а при прогнозировании $z(t)$:

$$z(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \lambda(t), \theta(t), x(t), q(t), \xi(t), t), \quad (9)$$

Наконец, обратим внимание на важнейшее обстоятельство, возникающее при исследовании реальных процессов. Это средства контроля, измерения всех доступных переменных, характеризующих состояние процесса. Здесь следует отметить, что, если переменные процесса доступны измерению электрическими средствами, то это чаще всего позволяет установить желаемый интервал (дискретность) контроля. К таким переменным можно отнести все электрические переменные (ток, напряжение, частота и др.), а также влажность, температуру, давление, загрузку и др. Сложнее дело обстоит с существенными переменными, которые доступны контролю лабораторным способом (химический, физико-химический, физико-механический, петрографический анализ и др.). Дискретность контроля здесь может достигать часов, смены, суток и многих суток. Важнейшей здесь является сама процедура и технология отбора проб для дальнейшего анализа и измерения тех или иных переменных. На эти обстоятельства мы обратим специальное внимание в дальнейшем.

Отметим еще одну особенность, которая всегда имеет место на практике. Дело в том, что исследуемые процессы, протекающие в природных явлениях или в технических и технологических системах, почти всегда носят нестационарный характер. Иными словами, характер тех или иных зависимостей между переменными процесса изменяется с течением времени заранее неизвестным образом. Причины этого разнообразны и мы не будем их здесь рассматривать, укажем только одну, не вызывающую сомнения, – это старение оборудования или изменчивость среды, где протекает интересующий нас процесс. Заметим также, что во всех приведенных выше процессах отсутствует запаздывание, хотя предполагается, что оно имеет место. Это сделано из соображений простоты. Все это существенно влияет на исследование интересующего нас процесса, и часто является просто определяющим.

Приведем схемы двух основных структур, часто встречающихся в промышленности, экономике, социологии и др. Прежде всего, это последовательная схема (рис. 6), где объекты относятся к классу вышеприведенных (рис. 1–5), N – число объектов. Переменные из соображений простоты на рис. 6 не показаны.

Более сложной, но часто имеющей место на практике, является последовательно-параллельная схема, представленная на рис. 7.

Многообразие задач идентификации обусловлено характером и свойствами процесса, например: статический, динамический или распределенный; линейный или нелинейный (известен ли тип или класс нелинейности); с запаздыванием или без запаздывания; стационарный или нестационарный; случайные возмущения $\xi(t)$ аддитивные или мультипликативные, закон распределения $\xi(t)$ известен или нет; случайные помехи в каналах связи $h(t)$ – аддитивные или мультипликативные, плотности вероятности их известны с точностью до параметров или неизвестны, сведения о моментах случайных величин, наблюдения переменных x_t, ω_t, u_t, μ_t статистически зависимы или нет и т. п.

Рассмотрим еще один процесс, часто имеющий место на практике [8]. Сущность его состоит в том, что из-за стохастической зависимости компонент вектора входных переменных, которая почти всегда неизвестна, исследуемый процесс имеет «трубчатую» структуру. Пусть $u \in R^1$, $\mu \in R^1$, $x \in R^1$ (рис. 8). Интервалы изменения $(u, \mu, x) \in R^3$ всегда известны из практических соображений. Без нарушения общности выделим в R^3 единичный куб. Реально протекающий процесс же принадлежит подобласти $\Omega^H(u, \mu, x) \subset \Omega(u, \mu, x)$, которая никогда неизвестна.

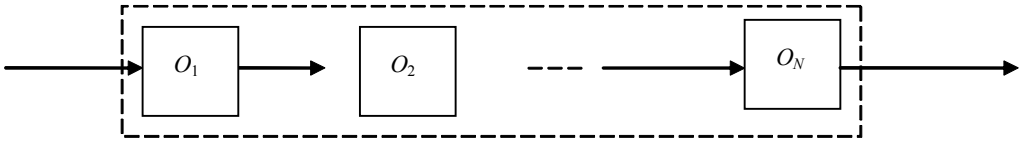


Рис. 6. Последовательная схема процесса

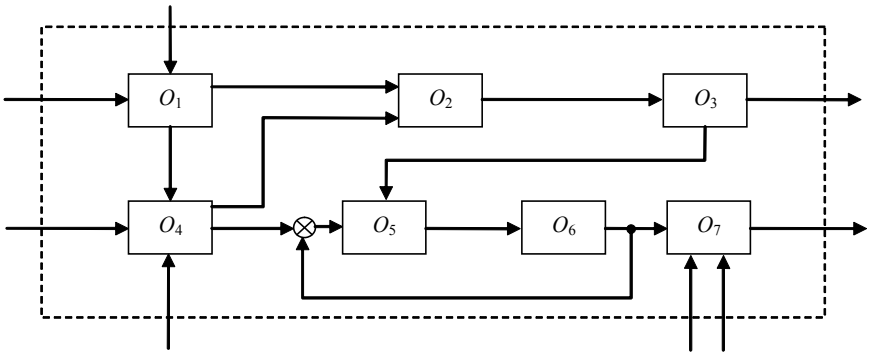


Рис. 7. Последовательно-параллельная схема процесса

Таким образом, $u \in [0;1]$, $\mu \in [0;1]$, $x \in [0;1]$, а триада $(u, \mu, x) \in \Omega^H(u, \mu, x)$. Ясно, что не каждое значение триады (u, μ, x), полученной в эксперименте или измеренной на реальном процессе, будет принадлежать единичному кубу $\Omega(u, \mu, x)$. Следует отметить, что в теории идентификации области $\Omega(u, \mu, x)$, $\Omega(u, \mu)$, $\Omega(u)$, $\Omega(\mu)$, $\Omega(x)$ всегда известны, а область $\Omega^H(u, \mu, x)$ неизвестна никогда. Из соображений простоты иллюстрации мы рассматриваем статический объект. В случае стохастической независимости входных переменных процесса $\Omega^H(u, \mu, x)$ совпадает с $\Omega(u, \mu, x)$, т. е. $\Omega^H(u, \mu, x) = \Omega(u, \mu, x)$. Если объект динамический, то переменные фазового пространства обязательно стохастически зависимы. Это, безусловно, накладывает отпечаток и на особенности моделирования подобных процессов, которые мы рассмотрим в дальнейшем.

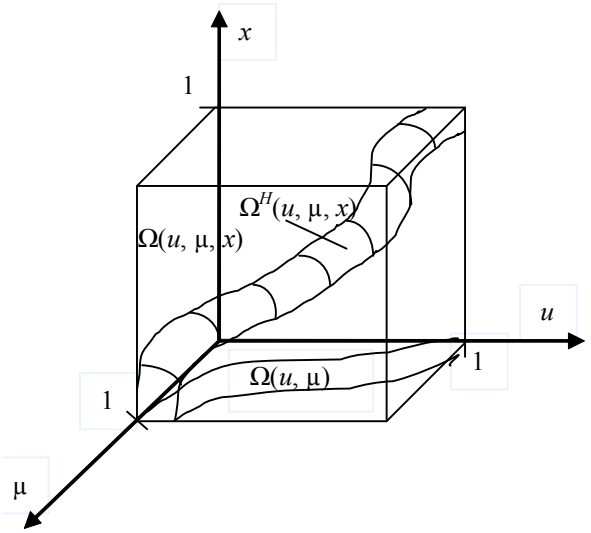


Рис. 8. Процесс, протекающий в трубке

Ниже рассмотрим процессы, часто встречающиеся на практике и являющиеся предметом исследования в теории распознавания образов. Типичным для задач технической диагностики, медицинской диагностики, диагностики состояния технологического процесса или объекта является наличие облачной структуры в пространстве признаков, определяющей тот или иной класс. Пусть некоторая ситуация (образ, процесс) может быть отнесена к тому или иному классу. Эта ситуация S характеризуется значениями вектора признаков $v = (v_1, \ldots, v_m)$ и может быть отнесена к одному из двух классов V_1 или V_2. Задача распознавания образов сводится к построению решающего правила на основе имеющейся обучающей выборки $\{\vec{v}_s = (v_1, ..., v_s), \vec{U}_s\}$, где U_s – указания учителя о принадлежности S к V_1 или V_2; s – объем выборки. Данная задача иллюстрируется для трехмерного вектора v, $m = 3$ (рис. 9). Элементы обучающей выборки $\{\vec{v}_s, \vec{U}_s\}$ на рисунке не показаны из соображений простоты. В дальнейшем выборку наблюдений переменных $\{v_s = (v_1, ..., v_s), U_s\}$ объемом s будем обозначать $\{\vec{v}_s = (v_1, ..., v_s), \vec{U}_s\}$, как это принято в монографии А. А. Фельдбаума [2]. Здесь же введен новый пограничный класс V_3, который определяет область достаточно сильного перемешивания представителей обоих классов. Таким образом, задачу обучения распознаванию образов из соображений практики целесообразно свести к трехальтернативной задаче распознавания.

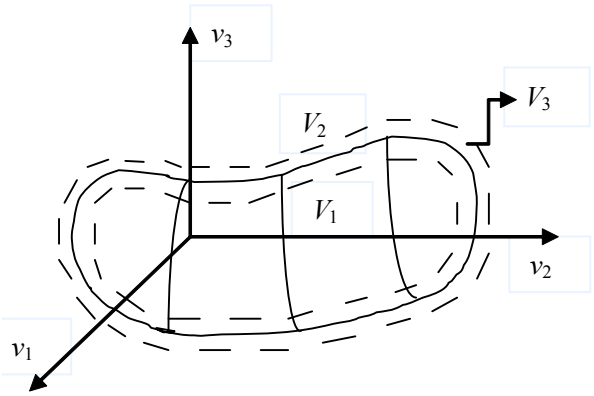


Рис. 9. Иллюстрация задачи распознавания образов

Рассмотрим класс процессов, относящийся к временным рядам. Временным рядом обычно называют наблюдения над некоторым процессом, явлением, порождающие упорядоченную последовательность, развернутую во времени t. Существенную роль при изучении временных рядов играет дискретность измерения Δt интересующей нас переменной $x(t)$. Так можно говорить об урожайности сельскохозяйственных культур, выпадении осадков, численности населения и т. д. Отсюда видно, что дискретность измерения $x(t)$ может быть год, месяц, день, а в некоторых технических процессах значительно меньше. Часто временной ряд представляют в виде

$$x_t = u_t + h_t, \quad t \in T = (t_1, t_2, ..., t_s), \qquad (8)$$

где u_t – медленная составляющая исследуемого процесса (тренд), которая может порождаться некоторым закономерным образом, часто неизвестным исследователю; h_t – случайная составляющая (помехи), независимая от u_t. В фундаментальной монографии М. Дж. Кендалла и А. Стьюарта [9] выделены четыре основные составляющие временного ряда: тренд или систематическая составляющая; колебания относительно тренда с большей или меньшей регулярностью; эффект сезонности; случайная, несистематическая или нерегулярная компонента.

Вернемся к (8). Здесь существенную роль играет восстановление тренда u_t, но еще более важной является задача прогнозирования, предсказания x_t, где $t > t_s$. В настоящее время актуальными стали задачи прогнозирования необходимого количества продукции на следующий день, курса валют, продаж тех или иных изделий за различные интервалы времени и др. Анализ таких процессов показывает, что здесь недостаточно исследовать процесс типа (8). Совершенно необходимым является привлечение других факторов и переменных, существенно влияющих на x_t, таким образом, (8) преобразуется к виду

$$x_t = u_t(y) + h_t, \quad t \in T = (t_1, t_2, ..., t_s), \qquad (9)$$

где вектор $y = (y_1, ..., y_k)$ состоит из компонент, влияющих на поведение x_t. Следует заметить, что компоненты вектора y не обязательно вещественные, а могут принадлежать другим шкалам измерения.

Таким образом, в настоящей статье описаны процессы, часто встречающиеся в технологии, производстве, экономике, социологии и др., которые, за исключением, процесса, представленного на рис. 1, можно считать слабо изученными. Тем не менее, они представляются значимыми в связи с тем, что имеют прямое отношение к реальности. При моделировании этих процессов важнейшими являются уровень и объем априорной информации (основа для математической формулировки задачи идентификации), дополнительной информации об исследуемом процессе и средства и технология контроля, измерения переменных. Последнее особенно касается организационных процессов.

Библиографические ссылки

1. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Общий подход // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 3.

2. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М. : Физматгаз, 1963.

3. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М. : Наука, 1968.

4. Медведев А. В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск : Наука, 1983.

5. Методы классической и современной теории автоматического управления : в 2 т. Т. 1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М. : Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.

6. Методы классической и современной теории автоматического управления: в 2 т. Т. 2. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М. : Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.

7. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. акад. им. акад. М. Ф. Решетнева : сб. науч. тр./ под ред. Г. П. Белякова ; Сиб. аэрокосмич. акад. Вып. 1. Красноярск, 2000.

8. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. акад. им. акад. М. Ф. Решетнева : сб. науч. тр. / под ред. Г. П. Белякова ; Сиб. аэрокосмич. акад. Вып. 1. Красноярск, 2000

9. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М. : Наука, 1976.

A. V. Medvedev

THEORY OF NON-PARAMETRIC SYSTEMS. PROCESSES

The article continuous to report the author's previous work [1]. The main attention is paid to description of processes (objects), which are not traditional for the identification problems. These processes are more adequate to many real processes proceeding in technological devices, manufacturing, objects of different nature, including organizational systems.

Keywords: non-parametric estimations, non-parametric algorithms, identification, controlling, discrete-continuous processes, convergence.

© Медведев А. В., 2010

УДК 519.85:519.676

В. В. Бухтояров, Е. С. Семенкин

КОМПЛЕКСНЫЙ ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТИВОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Предлагается новый комплексный подход для проектирования коллективов нейронных сетей, состоящий из метода автоматического проектирования нейронных сетей и метода автоматического формирования коллективного решения на основе решений отдельных нейронных сетей. Показано, что предлагаемый подход не менее эффективен, чем ряд других подходов для проектирования коллективов нейронных сетей.

Ключевые слова: нейронные сети, коллектив, автоматическое проектирование, генетическое программирование, вероятностный эволюционный алгоритм.

В настоящее время системы анализа данных, в основе которых лежат интеллектуальные информационные технологии (ИИТ), становятся все более востребованными во многих отраслях человеческой деятельности, а требования к масштабам таких систем неуклонно растут. В связи с этим все актуальнее становится вопрос о разработке методов автоматического проектирования и адаптации ИИТ под конкретные задачи. Такие методы могли бы позволить отказаться от использования для проектирования ИИТ дорогих, в основном человеческих, ресурсов и сократить время, необходимое для разработки интеллектуальных систем.

Одной из наиболее широко используемых и востребованных интеллектуальных технологий являются искусственные нейронные сети. Спектр задач, решаемых с помощью нейронных сетей необычайно широк, что обусловлено целым рядом преимуществ систем, основанных на их использовании. Несмотря на то, что данную информационную технологию можно назвать достаточно универсальным средством для решения задач анализа данных, в каждом конкретном случае приходится создавать уникальную в некотором смысле нейронную сеть.

Одним из подходов повышения эффективности систем, в основе которых лежит использование нейронных сетей, является использование коллективов нейронных сетей. Решение задач с помощью коллективов нейронных сетей предполагает одновременное использование конечного числа предварительно обученных нейронных сетей. Этот подход впервые был предложен в работе [1], в которой было показано, что способность к обобщению системы на основе нейронных сетей может быть значительно повышена за счет их объединения в коллектив.

В общем случае формирование коллектива нейронных сетей включает в себя два этапа. Для использования в системах анализа данных желательно, чтобы оба эти этапа были автоматизированы. Первый этап предполагает формирование структуры и обучение нейронных сетей, которые будут включены в коллектив или предварительный пул. Второй этап включает в себя отбор тех сетей, с помощью решений которых будет сформировано итоговое решение, а также определение способа и параметров формирования общего решения.

Формирование предварительного пула нейронных сетей. Для выполнения первого этапа формирования коллектива нейронных сетей часто используется подход, заключающийся в предварительном выборе и фиксации структуры нейронных сетей и обучении их на различных обучающих множествах, сформированных из исходной обучающей выборки задачи. В некоторых случаях при обучении каждой последующей нейронной сети делают упор на ее обучение на тех подмножествах обучающего множества, на которых ошибка всех предыдущих нейронных сетей была велика. Широкое распространение получили и другие подходы для формирования и обучения нейронных сетей, используемых коллективно. В работе [2] предложено использовать нейронные сети с различным числом скрытых нейронов, а в работе [3] предлагается использовать различные целевые функции для настройки каждой отдельной нейронной сети. Основным недостатком таких подходов является необходимость в априорной фиксации структуры нейронной сети, что может негативно сказаться на адаптивности результирующего коллективного решения.

Отдельное направление составляют подходы, основанные на использовании генетических алгоритмов (ГА) для формирования структуры нейронных сетей. Главной сложностью при использовании этих подходов является необходимость в настройке большого числа параметров алгоритма. Зачастую достаточно сложно подобрать правильные настройки генетического алгоритма, так как это требует значительных вычислительных и временных затрат. В то же время плохо настроенный ГА может вообще не решить задачу.

Анализ существующих методов автоматического проектирования структур нейронных сетей, в частности метода, основанного на использовании генетических алгоритмов [4], показывает, что во время работы методов накапливается и обрабатывается статистическая информация о структуре проектируемой нейронной сети. Однако эта информация не используется в явном виде, ее обработка и накопление в неявном виде осуществляется с помощью отдельных операторов конкретного метода, вид которых зависит от настройки соответствующих параметров. Между тем, если предложить метод обработки этой информации в явном виде, то это позволило бы отказаться от процедуры настройки большинства параметров генетического алгоритма, весьма затруднительной при решении реальных практических задач. В связи с этим для автоматического формирования структуры нейронных сетей предлагается новый вероятностный метод, использующий для обработки информации принципы, заложенные в операторах вероятностного генетического алгоритма [5].

Предлагаемый метод основан на вычислении и использовании оценок вероятностей $p_{i,j}^{k}$, где $i=\overline{1,N_l}$ – номер скрытого слоя нейронной сети; N_l – максимальное число скрытых слоев; $j=\overline{1,N_n}$ – номер нейрона на скрытом слое сети; N_n – максимальное число нейронов на скрытом слое; $k=\overline{0,N_F}$, где N_F – мощность множества активационных функций, которые могут быть использованы при формировании структуры нейронной сети. Если индекс k лежит в интервале $[1;N_F]$, то он соответствует номеру активационной функции в нейроне, если $k=0$, то $p_{i,j}^{k}$ является оценкой вероятности того, что в сети отсутствует j-й нейрон на i-м слое.

В качестве максимально полной в смысле количества слоев и количества нейронов на слоях архитектуры нейронной сети используется полный многослойный персептрон с числом скрытых слоев равным N_l, и числом нейронов на каждом скрытом слое равным N_n. Данная архитектура позволяет с помощью номера скрытого слоя и номера нейрона на слое явно указать все возможные положения нейрона в сети.

Решения в рассматриваемом методе предлагается представлять в виде вектора-строки S целых чисел, принадлежащих интервалу $[0;N_F]$ и длиной $L=N_l\cdot N_n$.

Число элементов этой строки равно максимально возможному числу нейронов на скрытых слоях полного многослойного персептрона. Номер каждого элемента этой строки, представленный в виде

$$r=N_n\cdot(i-1)j,\ i=\overline{1,N_l},\ \ j=\overline{1,N_n}, \qquad (1)$$

однозначно определяет местоположение нейрона в структуре искусственной нейронной сети с архитектурой полного персептрона. Поэтому каждый элемент строки можно трактовать следующим образом:

а) если $S_r=0$, то нейрон j на i-м скрытом слое и соответствующие синаптические связи отсутствуют;

б) если $S_r\neq 0$, то нейрон j на i-м скрытом слое существует и в нем используется активационная функция с номером S_r.

С помощью такой строки можно описать нейронную сеть с любой конфигурацией слоев и нейронов на них, размеры которой не превышают размеры N_l и N_n, указанные для архитектуры многослойного персептрона.

Ниже представлена общая схема предлагаемого метода автоматического формирования структуры искусственных нейронных сетей.

1. Выполнить шаги инициализации метода.

2. Случайным образом сформировать N векторов $S^{o,i}, i=\overline{1,N}$, установить счетчик итераций $k=0$.

3. На k-м шаге поиска произвести оценку решений, представленных $S^{k,i}$, $i=\overline{1,N}$, положить промежуточное множество $S'=\varnothing$.

4. С помощью оператора селекции выбрать N_{par} решений из текущего множества $S^k=\left\{S^{k,1},\ S^{k,2},\ ...,\ S^{k,N}\right\}$ и поместить их в промежуточное множество S'.

5. Используя решения из множества S', вычислить набор оценок вероятностей $\overline{P}=\left\{p_{i,j}^l\right\}=\left\{p_r^l\right\}$, $r=\overline{1,L}$, $l=\overline{1,N_F}$.

6. В соответствии с вычисленными оценками вероятностей с помощью датчика псевдослучайных чисел сформировать промежуточное множество $\overline{S^k}$, состоящее из N новых решений.

7. К решениям из множества $\overline{S^k}$ применяется оператор мутации.

8. Из множеств S^k и $\overline{S^k}$ формируется новое множество решений S^{k+1}.

9. Если выполняется условие остановки, то лучшее найденное решение объявить результатом работы. Иначе $k=k+1$ и перейти к шагу 3.

Инициализация метода предполагает указание максимального числа скрытых слоев нейронной сети N_l, максимального числа нейронов на каждом из слоев нейронной сети N_n, определения набора активационных функций S и максимального числа шагов формирования структуры N_{step}, а также указания числа сетей, просматриваемых на каждом шаге формирования структуры S.

На втором шаге метода выполняется генерация начального множества решений. Для того чтобы сгенерировать изначально более простые структуры нейронных сетей, в данном методе были установлены следующие значения вероятностей генератора случайных чисел для различных значений элементов строки-решения:

$$S_r^{1,i}=\begin{cases}0, & \text{с вероятностью } 0{,}5,\\ s\in\left[1;N_F\right], & \text{с вероятностью } 0{,}5/N_F\end{cases},$$

где $r=\overline{1,L}$, $i=\overline{1,N}$.

Ключевыми шагами метода являются шаги 5 и 6. На шаге 5, учитывая уравнение (1), для полносвязной нейронной сети оценки вероятностей рассчитываются по следующей формуле:

$$p_i^k=\frac{\sum\limits_{r=N_n(i-1)}^{N_n i}\left|S_r^l : S_r^l=k,\ l=\overline{1,N_{\text{par}}}\right|}{N_n\cdot N_{\text{par}}},$$

$$p_i^k=p_{i,j}^k,\ k=\overline{0,N_F},\ i=1,N_l,\ j=\overline{1,N_n},$$

где N_n – максимальное число нейронов на скрытом слое; N_l – число скрытых слоев; N_{par} – количество решений в промежуточном родительском множестве; $|\cdot|$ – мощность множества.

На шаге 6 промежуточное множество $\overline{S^k}$ формируется в соответствии с оценками вероятностей, рассчитанными на шаге 5. На шагах 5 и 6 предлагаемого метода осуществляются накопление и обработка статистической информации о структурах нейронных сетей в явном виде.

Выбор состава и формирование решения коллектива. На втором этапе должны быть выбраны те нейронные сети, которые будут использованы для расчета коллективного решения, а также должен быть непосредственно определен способ, по которому в коллективном решении будут учтены решения отдельные его членов. Наиболее распространенными вариантами комбинирования решений отдельных нейронных сетей являются равноправное или неравноправное голосование для задач классификации [1] и простое или взвешенное усреднение для задач регрессии [6]. Наиболее разработаны варианты с взвешенным усреднением или неравноправным голосованием. Например, в работе [7] для оценки весовых коэффициентов вклада отдельных нейронных сетей в общее решение используется оценка качества их индивидуальных решений. В работе [8] для определения весовых коэффициентов используется генетический алгоритм.

Для повышения эффективности выполнения этого этапа был разработан метод, позволяющий автоматически выбирать из сформированного предварительно пула те нейронные сети, которые будут участвовать в принятии коллективного решения, и формировать это коллективное решение в виде различных преобразований и комбинаций (линейных и нелинейных) решений отдельных участников коллектива нейронных сетей. Предполагается, что, используя коллектив нейронных сетей, возможно найти более эффективное решение задачи с помощью формирования более сложных комбинаций решений отдельных нейронных сетей, чем простое или взвешенное усреднение и равноправное или неравноправное голосование.

Предлагаемый подход основан на методе генетического программирования [9], который используется для решения задач символьной регрессии. Основная идея заключается в адаптации и использовании операторов генетического программирования для автоматического формирования решения, представляющего собой формулу (программу) для вычисления общего решения коллектива нейронных сетей на основе решений, полученных от его отдельных членов.

Для построения решения предлагаемый метод использует элементы терминального и функционального множеств. В качестве терминального множества – множества термов, из которых будут строиться решения, – используются ответы, данные нейронными сетями из предварительного пула, а не непосредственно переменные задачи, как в методе генетического программирования. В терминальное множество также включены числовые константы, настройка которых позволяет получить более адаптивное общее решение коллектива нейронных сетей. В качестве элементов функционального множества используются различные операции и функции, определяющие вид зависимостей между коллективным решением и решениями, полученными с помощью отдельных нейронных сетей.

Общая схема предлагаемого метода представлена ниже и в основе своей совпадает с шагами метода генетического программирования, используемого для аппроксимации функций.

1. Инициализация начальной популяции решений.

2. Пока не будет выполнен критерий останова, выполняется итерационная процедура, состоящая из следующих подшагов:

2.1. Вычисляется пригодность для каждого индивида текущего поколения.

2.2. С вероятностью, связанной с найденным значением пригодности, выбирается один или несколько индивидов из популяции для выполнения генетических операций.

2.3. Создается новая популяция индивидов-программ с помощью выполнения с заданной вероятностью следующих генетических операторов:

2.3.1. Создание нового индивида с помощью скрещивания.

2.3.2. Создание нового индивида с помощью мутации.

2.3.3. Простое копирование существующего индивида в новое поколение.

3. После того как будет выполнен критерий останова, лучшее решение, найденное в ходе выполнения алгоритма, объявляется результатом работы алгоритма.

Решения кодируются в виде деревьев, внешние вершины которых формируются из элементов терминального множества, а внутренние – из элементов функционального множества. В качестве элементов функционального множества могут быть использованы арифметические операции, математические функции, булевы операции.

Общее коллективное решение, сформированное с помощью предлагаемого метода, представляет собой некоторую функцию, входными параметрами которой являются частные решения нейронных сетей, включенных в коллектив:

$$o = f\left(o_1,\ o_2,\ ...,\ o_n\right),$$

где o – общее решение; o_i – индивидуальное решение i-й сети; n – число сетей в коллективе.

Предлагаемый метод позволяет расширить гибкость системы, основанной на использовании коллективов нейронных сетей, за счет отсутствия твердо закрепленной структуры взаимодействия между индивидуальными сетями, формирующими коллектив. При этом рассматриваемый метод не только формирует структуру взаимодействия между членами коллектива, но и косвенно (за счет включения или невключения соответствующих аргументов в формулу общего решения) отбирает те нейронные сети, решения которых будут наиболее полезны в плане эффективности решения задачи. Использование дополнительных алгоритмов (например, генетического алгоритма) для настройки параметров получаемой модели взаимодействия позволяет дополнительно повысить эффективность модели.

Исследование эффективности метода. Для исследования эффективности предлагаемого комплексного подхода к проектированию коллективов нейронных сетей был проведен ряд численных экспериментов на наборе тестовых задач. Предлагаемый метод был исследован в сравнении со следующими методами, часто используемыми для формирования коллективов нейронных сетей:

1. Метод GASEN – метод, использующий для назначения весов генетический алгоритм с последующим учетом при формировании общего решения тех нейронных сетей, чей весовой коэффициент выше некоторого заданного заранее значения [7].

2. Метод, основанный на использовании генетического алгоритма для выбора фиксированного числа нейронных сетей из предварительного пула и назначения им весов (ниже обозначен как GA-based1).

3. Метод, основанный на использовании генетического алгоритма для выбора произвольного числа нейронных сетей из предварительного пула и назначения им весов (ниже обозначен как GA-based2).

Для формирования предварительно пула нейронных сетей в этих методах использовался стандартный метод конструирования нейронных сетей на основе генетического алгоритма с заранее подобранными эффективными настройками параметров. Для нейронных сетей максимальное число скрытых слоев равно трем, максимальное число нейронов на каждом слое равно пяти. В ходе предварительного исследования было выяснено, что увеличение максимального числа скрытых слоев сети и максимального числа нейронов на них не дает дополнительного преимущества для рассматриваемых задач.

Для проведения исследований также был использован набор данных тестов по прогнозированию прочностных характеристик бетона из репозитория UCI Machine Learning Repository [10]. Этот набор данных включает 103 записи, описывающих зависимость между составом бетона и измеренными показателями, характеризующими деформацию и прочностные характеристики полученных из него изделий.

Примеры задач, использовавшихся в сравнительных исследованиях, приведены в табл. 1.

В качестве главного критерия эффективности использовались оценка математического ожидания и оценка дисперсии ошибки, рассчитанные по данным, полученным в ходе 50 независимых запусков алгоритмов. Для расчета ошибки аппроксимации в каждом запуске использовалась следующая формула:

$$\text{Error} = \frac{100\ \%}{s\left(y^{\max} - y^{\min}\right)} \sum_{i=1}^{s} \left|o_i - y_i\right|.$$

где i – номер записи в выборке; o_i – выход сети или коллектива нейронных сетей; y_i – значение выходной переменной в выборке; $y^{\max}$ и $y^{\min}$ – максимальное и минимальное значение выходной переменной; s – число элементов в выборке.

Результаты сравнительного исследования предлагаемого вероятностного метода автоматического формирования структуры нейронных сетей и метода, использующего для решения этой задачи генетический алгоритм, приведены в табл. 2.

Результаты сравнительного исследования предлагаемого комплексного подхода для проектирования коллективов нейронных сетей и других методов, описанных выше, приведены в табл. 3–5.

Приведем пример формулы, описывающей способ расчета коллективного решения для задачи прогнозирования прочностных характеристик бетона на основании решений отдельных нейронных сетей:

$$o = o_4 - \left(o_{20} - 1{,}953 o_4 + o_{18}\right) \Big/ \left(o_9 \big/ \left(o_4 + o_{18}\right) - 2{,}824\right),$$

где o – общее решение, рассчитанное для коллектива нейронных сетей; o_4, o_9, o_{18}, o_{20} – выход четвертой, девятой, восемнадцатой и двадцатой нейронных сетей из предварительного пула. Эти сети в автоматическом режиме были отобраны для формирования коллектива. Из этих сетей минимальной ошибки (4,92 %) позволяет достичь сеть 18. Максимальное значение ошибки (4,98) соответствует сети 20. Значение ошибки коллектива нейронных сетей – 3,57 %.

Рассмотрим характеристики процесса формирования коллектива нейронных сетей для решения задачи прогнозирования прочностных характеристик бетона. Для сравнения рассмотрим характеристики сетей, включенных в

Таблица 1

Примеры тестовых задач

№ задачи	Моделируемая функция	Диапазон входных переменных	Объем выборки
1	$y = \sin x$	$x \in [-4, 3]$	150
2	$y = x_1^2 \sin x_1 + x_2^2 \sin x_2$	$x_i \in [-4, 3]$	150
3	$y = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_3^2}$	$x_i \in [1, 20]$	200
4	$y = 100\left(x_2 - x_1^2\right)^2 - \left(1 - x_1\right)^2$	$x_i \in [-2, 3]$	200

Таблица 2

Результаты сравнительного исследования методов проектирования нейронных сетей

Задача	Вероятностный метод Оценка математического ожидания ошибки, %	ГА Оценка математического ожидания ошибки, %
1	1,880	**1,857**
2	**4,355**	4,428
3	**0,736**	0,780
4	6,750	**6,643**

Таблица 3

Результаты сравнительного исследования на тестовых задачах 1 и 2

Метод	Тестовая задача 1		Тестовая задача 2	
	Оценка математического ожидания ошибки, %	Оценка дисперсии ошибки, %	Оценка математического ожидания ошибки, %	Оценка дисперсии ошибки, %
Одна нейронная сеть	1,880	0,510	4,355	0,736
GASEN	1,444	0,112	3,79	0,026
GA based 1	1,335	0,223	3,486	0,028
GA based 2	1,302	0,162	3,482	0,024
Предлагаемый метод	**0,855**	**0,065**	**3,037**	**0,003**

Таблица 4

Результаты сравнительного исследования на тестовых задачах 3 и 4

Метод	Тестовая задача 3		Тестовая задача 4	
	Оценка математического ожидания ошибки, %	Оценка дисперсии ошибки, %	Оценка математического ожидания ошибки, %	Оценка дисперсии ошибки, %
Одна нейронная сеть	2,537	0,245	6,643	1,447
GASEN	1,679	**0,016**	6,192	0,163
GA based 1	1,651	0,019	6,147	0,178
GA based 2	1,639	0,020	6,100	0,209
Предлагаемый метод	**1,389**	0,035	**5,036**	**0,115**

Таблица 5

Результаты сравнительного исследования на задаче прогнозирования прочностных характеристик бетона

Метод	Оценка математического ожидания ошибки, %	Оценка дисперсии ошибки, %
GASEN	4,119	0,040
GA based 1	4,113	0,047
GA based 2	4,012	0,036
Предлагаемый метод	**3,521**	**0,028**

предварительный пул, и сетей, отобранных в коллектив. Статистические данные были получены по результатам двадцати запусков программной системы, реализующей предлагаемый метод формирования коллектива нейронных сетей.

Сеть минимального размера, которая была включена в предварительный пул, имела два скрытых слоя, на каждом из которых было по два нейрона. Сеть максимального размера, включенная в предварительный пул, имела 13 нейронов на скрытых слоях сети – 5 на первом скрытом слое, по 4 нейрона на втором и третьем скрытых слоях. Среднее число нейронов на скрытых слоях сетей, включенных в предварительный пул, равно 9.

Среднее число сетей, отобранных в коллектив из предварительного пула, включающего 20 нейронных сетей, равно 5 (точное значение 4,75). Среднее число нейронов в таких сетях равно 7.

Среднее значение ошибки для одной нейронной сети из предварительного пула 4,95 %. Среднее значение ошибки для усредненного выхода всех сетей предварительного пула 4,58 %. Среднее значение ошибки коллективов нейронных сетей, сформированных предлагаемым методом, равно 3,52 %. При этом в коллектив обычно попадают не только сети с наименьшей индивидуальной ошибкой моделирования, что указывает на то, что отбираются сети, позволяющие именно совместно минимизировать итоговое значение ошибки, характеризующей качество общего решения коллектива.

Результаты статистических исследований показывают, что предлагаемый комплексный подход для проектирования коллективов нейронных сетей демонстрирует высокую эффективность на всех использованных тестовых задачах. Относительно первого этапа проектирования коллектива нейронных сетей на основании результатов сравнительного исследования можно сделать вывод о том, что вероятностный метод формирования структуры нейронных сетей не менее эффективен, чем широко используемый метод на основе генетического алгоритма. Преимуществом предлагаемого метода является меньшее число параметров алгоритма, которые необходимо настраивать для его эффективной работы, что позволяет снизить затраты на решение задачи.

Предлагаемый подход для формирования коллективов нейронных сетей демонстрирует высокую эффективность и не уступает другим подходам на использованных тестовых задачах. Относительное превосходство предлагаемого метода над другими методами формирования общего решения в коллективах нейронных сетей по показателю средней ошибки моделирования находится в пределах от 50 % для тестовой задачи 1 до 13 % для тестовой задачи 2. Среднее превосходство по рассматриваемому показателю составляет около 25 %. Для задачи прогнозирования прочностных характеристик бетона относительное превосходство предлагаемого метода составило около 15 %, что можно считать достаточно хорошим результатом при обработке реальных данных.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что предлагаемый подход позволяет эффективно автоматически генерировать коллективы нейронных сетей и формировать итоговое решение коллектива. Таким образом, данный комплексный подход целесообразно использовать для повышения эффективности решения сложных прикладных задач, традиционно решаемых с помощью систем, использующих одну искусственную нейронную сеть, например, сложных задач аппроксимации и прогнозирования.

Библиографические ссылки

1. Hansen L. K., Salamon P. Neural network ensembles // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1990. 12 (10). P. 993–1001.

2. Cherkauer K. J. Human expert level performance on a scientific image analysis task by a system using combined artificial neural networks // Proc. AAAI-96 Workshop on Integrating Multiple Learned Models for Improving and Scaling Machine Learning Algorithms / by ed. P. Chan, S. Stolfo, D. Wolpert. Portland, OR: AAAI Press : Menlo Park, CA, 1996. P. 15–21.

3. Hampshire J., Waibel A. A novel objective function for improved phoneme recognition using timedelay neural networks // IEEE Transactions on Neural Networks. 1990. № 1 (2). P. 216–228.

4. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Reading, MA : Addison-Wesley, 1989.

5. Семенкин Е. С., Сопов Е. А. Вероятностные эволюционные алгоритмы оптимизации сложных систем // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. AIS'05/CAD-2005. М. : Физматлит, 2005. С. 77–78.

6. Perrone M. P., Cooper L. N. When networks disagree: ensemble method for neural networks // Artificial Neural Networks for Speech and Vision / by ed. R. J. Mammone. New York : Chapman & Hall, 1993. P. 126–142.

7. Jimenez D. Dynamically weighted ensemble neural networks for classification // Proc. IJCNN-98. Vol. 1. Anchorage, AK : IEEE Computer Society Press : Los Alamitos, CA, 1998. P. 753–756.

8. Zhou Z. H., Wu J., Tang W. Ensembling neural networks: Many could be better than all // Artif. Intell. 2002. Vol. 137. № 1–2. P. 239–263.

9. Koza J. R. The Genetic Programming Paradigm: Genetically Breeding Populations of Computer Programs to Solve Problems. Cambridge, MA : MIT Press, 1992.

10. Yeh I-Ch. Modeling slump flow of concrete using second-order regressions and artificial neural networks // Cement and Concrete Composites. 2007. Vol. 29, № 6. P. 474–480.

V. V. Bukhtoyarov, E. S. Semenkin

INTEGRATED EVOLUTIONARY APPROACH FOR NEURAL NETWORK ENSEMBLES AUTOMATIC DESIGN

New comprehensive approach for neural network ensemble design is proposed. It consists of method for neural networks automatic design and method for ensemble decision automatic construction. It is demonstrated that proposed approach is not less effective than other approaches for neural network ensemble design.

Keywords: neural networks, ensemble, automatic design, genetic programming, probability-based evolutionary algorithm.

© Бухтояров В. В., Семенкин Е. С., 2010

УДК 004.932

И. Н. Паламарь, П. В. Сизов

МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ И МНОГОМАСШТАБНОГО АНАЛИЗА

Анализируются достоинства и недостатки существующих методов сегментации изображений. Ведется разработка оригинального алгоритма сегментации, использующего идеи метода выращивания областей и многомасштабного анализа. Проводится исследование возможностей предложенного подхода при сегментации разнотипных изображений.

Ключевые слова: сегментация, изображение, выращивание, вейвлет.

Сегментация, т. е. выделение однородных областей на исходном цифровом изображении, является одной из наиболее важных задач в системах машинного зрения, которые применяются во многих научно-технических и производственных отраслях: медицине, металлографии, аэрофотосъемке, робототехнике, дефектоскопии, системах безопасности и охраны правопорядка и др. Именно на данном этапе обработки происходит преобразование изображения из вида, характеризуемого совокупностью пикселов, в форму множества сегментов, пригодную для дальнейшего распознавания объектов сцены.

На данный момент существует масса формализованных методов сегментации [1], которые по основному принципу работы можно условно разделить на две группы:

– методы, первоначально выделяющие границы областей (контуры) как перепады какого-либо признака изображения;

– методы, выделяющие области (сегменты) по однородности на них определенного признака.

К первой группе следует отнести методы, вычисляющие первую и вторую производные функции изображения с помощью различных масок (операторы Робертса, Превитта, Собела, Лапласа, Марра–Хилдрет и др.), дополняемые методами связывания контуров (локальное связывание, преобразование Хафа (Hough), анализ с помощью теории графов). Проблемой данных методов определения контуров является несвязность получаемых границ объекта, что неудивительно, так как алгоритмы, находящиеся в основе сегментации не настроены на получение связных, замкнутых контуров, а методы связывания, являясь надстройкой для данных алгоритмов, позволяют решить проблему ценой больших вычислительных затрат.

К методам сегментации, объединенным в рамках второй группы, прежде всего можно отнести пороговое преобразование. Данный метод, получивший широкое распространение благодаря своей простоте и понятным свойствам, несмотря на различные усовершенствования, имеет недостаток, присущий и указанным методам определения контуров – неиспользование информации о связности сегментов. Этого недостатка лишены методы выделения областей, изначально построенные так, чтобы получать связные области, удовлетворяющие некоторому критерию однородности: выращивание областей, разделение и слияние областей, сегментация по морфологическим водоразделам.

Метод выращивания областей в простейшей его реализации можно описать так:

1) на исходном изображении выбираются точки (центры кристаллизации), предположительно принадлежащие выделяемым областям, например, это могут быть точки с максимальным уровнем яркости;

3) далее из этих точек начинается рост областей, т. е. присоединение к уже имеющимся точкам области соседних, при этом используется определенный критерий их близости, например, разница в яркости;

4) остановка роста областей по какому-либо условию, например, максимальному отклонению яркости новых точек области от уровня яркости центра кристаллизации.

Как видно из описания, данный алгоритм учитывает связность областей и на практике позволяет гораздо ус-

пешнее решать многие задачи, где до этого применялось пороговое преобразование. Недостатком здесь является возросшая вычислительная сложность, а основную трудность составляет поиск центров кристаллизации и определение момента окончания роста областей.

Из данного представления методов сегментации следует вывод о необходимости использования информации о связности сегментов (или контуров) при выделении областей. Перспективной идеей здесь видится модификация метода выращивания областей с целью получения полной сегментации, а не просто отделения выбранных объектов от фона.

Определим требования к проектируемому методу сегментации. Новый метод должен:

– обладать высокой точностью и достоверностью при выделении областей, работать на достаточно сложных для сегментации изображениях;

– выполнять полную сегментацию изображения;

– выделять связные однородные области;

– использовать помимо яркостной также текстурную информацию;

– иметь высокий уровень автоматизации, сводящий к минимуму вмешательство оператора в процесс сегментации.

Для описания операций метода сегментации сначала необходимо определиться со способом представления исходных данных. Оригинальное изображение зададим вектор-функцией $\overline{f}(x, y)$, определенной на двумерном пространстве целых чисел как $\overline{f}(x, y) = \overline{p}_{x,y}$, где вектор $\overline{p} = [p^R, p^G, p^B]$ определяет значение цвета пиксела в трехмерном цветовом пространстве RGB.

Прежде всего необходимо универсально решить проблему поиска центров кристаллизации. Свойство центров роста находиться внутри однородных областей подсказывает выбор способа их нахождения – дифференциальное преобразование. Тогда на преобразованном изображении точки локальных минимумов будут соответствовать точкам с наименьшим изменением уровня яркости в окрестности, т. е. центрам кристаллизации. Для большинства применяемых в таком случае преобразований (по Превитту, Собелу и др.) окрестность дифференцирования распространяется не далее одного пиксела. Однако для выделения большей информации о вариациях значений пикселов вблизи сканируемой точки можно использовать многомасштабное представление ближайшей окрестности, применив идеи вейвлет-преобразования.

Как известно, вейвлет-анализ изображения состоит в представлении оригинала в виде двух пирамид: приближений и деталей, отображающих локальные изменения изображения на разных масштабах. Отсюда следует, что, используя вейвлет-детали, можно выделить информацию о поведении функции изображения в окрестности исследуемой точки на разных масштабах (частотах), а не на единственном верхнем уровне, как в дифференциальных операторах. При этом должен быть применен способ фильтрации с плавающей маской, где для каждой точки изображения полностью рассчитываются вейвлет-детали ее окрестности.

Итак, с каждым пикселом можно связать некоторую окрестность на исходном изображении (рис. 1), по которой будут рассчитаны коэффициенты многомасштабного анализа.

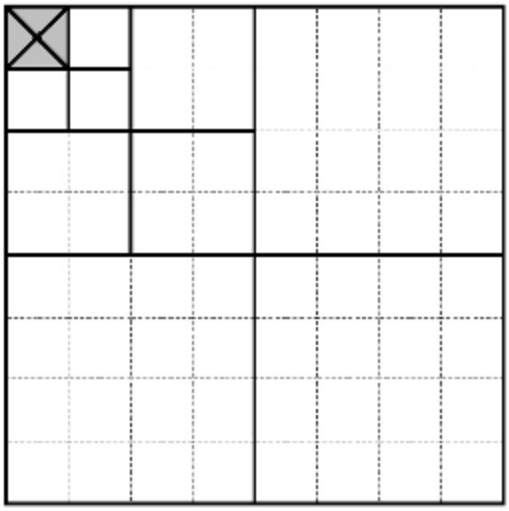


Рис. 1

Тогда для выбранной точки изображения можно рассчитать несколько значений детализации (на рис. 1 – три), число которых определяется уровнем преобразования. Для более глубокого уровня анализа используется бульшая окрестность. Но, как видно из примера, эта окрестность покрывает лишь один квадрант в области пиксела. Остальные квадранты перекроем путем отражений шаблона преобразования и получим количественную меру изменчивости функции изображения на определенном масштабе (назовем ее вейвлет-статистикой) как сумму $W^l_{x,y} = V^{I,l}_{x,y} + V^{II,l}_{x,y} + V^{III,l}_{x,y} + V^{IV,l}_{x,y}$, где l – уровень анализа; $V^{I,l}_{x,y}$, $V^{II,l}_{x,y}$, $V^{III,l}_{x,y}$, $V^{IV,l}_{x,y}$ – составляющие вейвлет-статистики, рассчитанные в четырех квадрантах окрестности базовой точки. Эти слагаемые отличаются направлением своего расчета на плоскости изображения. Для их определения введем вспомогательный вектор $\overline{mw}^{Q,l}_{x,y}$ среднего значения l-го уровня на квадрате пикселов со стороной 2^l, рассчитываемый по рекуррентным формулам

$$\overline{mw}^{\mathrm{IV},l}_{x,y} = \overline{M}\left(\left\{\overline{mw}^{\mathrm{IV},l-1}_{x,y},\ \overline{mw}^{\mathrm{IV},l-1}_{x+2^{l-1},y},\ \overline{mw}^{\mathrm{IV},l-1}_{x,y+2^{l-1}},\ \overline{mw}^{\mathrm{IV},l-1}_{x+2^{l-1},y+2^{l-1}}\right\}\right),$$

$$\overline{mw}^{\mathrm{III},l}_{x,y} = \overline{M}\left(\left\{\overline{mw}^{\mathrm{III},l-1}_{x,y},\ \overline{mw}^{\mathrm{III},l-1}_{x+2^{l-1},y},\ \overline{mw}^{\mathrm{III},l-1}_{x,y-2^{l-1}},\ \overline{mw}^{\mathrm{III},l-1}_{x+2^{l-1},y-2^{l-1}}\right\}\right),$$

$$\overline{mw}^{\mathrm{II},l}_{x,y} = \overline{M}\left(\left\{\overline{mw}^{\mathrm{II},l-1}_{x,y},\ \overline{mw}^{\mathrm{II},l-1}_{x-2^{l-1},y},\ \overline{mw}^{\mathrm{II},l-1}_{x,y-2^{l-1}},\ \overline{mw}^{\mathrm{II},l-1}_{x-2^{l-1},y-2^{l-1}}\right\}\right),$$

$$\overline{mw}^{\mathrm{I},l}_{x,y} = \overline{M}\left(\left\{\overline{mw}^{\mathrm{I},l-1}_{x,y},\ \overline{mw}^{\mathrm{I},l-1}_{x-2^{l-1},y},\ \overline{mw}^{\mathrm{I},l-1}_{x,y+2^{l-1}},\ \overline{mw}^{\mathrm{I},l-1}_{x-2^{l-1},y+2^{l-1}}\right\}\right),$$

$$\overline{mw}^{Q,0}_{x,y} = \overline{p}_{x,y},\ Q = \{\mathrm{I}, \mathrm{II}, \mathrm{III}, \mathrm{IV}\},$$

где $\overline{M}$ – оператор расчета средней точки в трехмерном RGB-пространстве на множестве $P = \{\overline{p}_1, \overline{p}_2, ..., \overline{p}_N\}$.

Теперь, используя данные формулы, можно описать расчет составляющих вейвлет-статистики для l-го масштаба как

$$V^{\mathrm{IV},l}_{x,y} = D\left(\overline{mw}^{\mathrm{IV},l}_{x,y},\ \overline{mw}^{\mathrm{IV},l-1}_{x+2^{l-1},y}\right) + D\left(\overline{mw}^{\mathrm{IV},l}_{x,y},\ \overline{mw}^{\mathrm{IV},l-1}_{x,y+2^{l-1}}\right) +$$

$$+ D\left(\overline{mw}^{\mathrm{IV},l}_{x,y},\ \overline{mw}^{\mathrm{IV},l-1}_{x+2^{l-1},y+2^{l-1}}\right),$$

$$V_{x,y}^{\mathrm{III},l} = D\left(\overline{mw}_{x,y}^{\mathrm{III},l},\ \overline{mw}_{x+2^{l-1},y}^{\mathrm{III},l-1}\right) + D\left(\overline{mw}_{x,y}^{\mathrm{III},l},\ \overline{mw}_{x,y-2^{l-1}}^{\mathrm{III},l-1}\right) + D\left(\overline{mw}_{x,y}^{IV,l},\ \overline{mw}_{x+2^{l-1},y-2^{l-1}}^{IV,l-1}\right),$$

$$V_{x,y}^{\mathrm{II},l} = D\left(\overline{mw}_{x,y}^{\mathrm{II},l},\ \overline{mw}_{x-2^{l-1},y}^{\mathrm{II},l-1}\right) + D\left(\overline{mw}_{x,y}^{\mathrm{II},l},\ \overline{mw}_{x,y-2^{l-1}}^{\mathrm{II},l-1}\right) + D\left(\overline{mw}_{x,y}^{\mathrm{II},l},\ \overline{mw}_{x-2^{l-1},y-2^{l-1}}^{\mathrm{II},l-1}\right),$$

$$V_{x,y}^{\mathrm{I},l} = D\left(\overline{mw}_{x,y}^{\mathrm{I},l},\ \overline{mw}_{x-2^{l-1},y}^{\mathrm{I},l-1}\right) + D\left(\overline{mw}_{x,y}^{\mathrm{I},l},\ \overline{mw}_{x,y+2^{l-1}}^{\mathrm{I},l-1}\right) + D\left(\overline{mw}_{x,y}^{\mathrm{I},l},\ \overline{mw}_{x-2^{l-1},y+2^{l-1}}^{\mathrm{I},l-1}\right),$$

где D – оператор вычисления евклидова расстояния в RGB-пространстве.

В итоге после расчетов получим массив чисел, где каждой точке $\overline{p}_{x,y}$ изображения будет соответствовать последовательность значений $W_{x,y}^{l}$, отражающих степень вариации функции оригинала для разных уровней масштаба l в ближайшей окрестности, размер которой непостоянен и зависит от уровня анализа. Из каждой такой последовательности может быть получено единственное значение посредством сложения входящих в нее чисел, и далее может быть определена двумерная функция суммарной вейвлет-статистики

$$UW^{Z}(x, y) = \sum_{l=1}^{Z} W_{x,y}^{l},\ Z \le |\log_2(\min\{X, Y\})|,$$

где Z – глубина расчета вейвлет-статистики; X, Y – общее количество строк и столбцов на исходном изображении. Получив данную функцию, следует перейти к непосредственному определению центров кристаллизации путем поиска на ней локальных минимумов.

Так как исследуемая функция $UW^{Z}(x, y)$ определена на двумерном дискретном пространстве, то использование классических методов оптимизации функций многих переменных здесь будет неэффективно. Здесь возможно применение метода подавления немаксимумов [2] применительно к задаче минимизации. Его использование предполагает сканирование изображения с помощью маски 3×3 с целью определения точек, окруженных пикселами с наибольшими значениями. Но в такой постановке окажутся потерянными точки нестрогого локального минимума, а, исходя из требований, предъявляемых к задаче обнаружения центров кристаллизации, в области равно малых значений функции должна быть определена как минимальная одна точка, желательно лежащая в центре области равных значений. Для этого необходимо после нахождения точки нестрогого локального минимума выполнить морфологическую заливку связной с ней области того же уровня с целью определения и сохранения средней точки выделенной компоненты как центра кристаллизации. Математическое описание морфологических операций обычно дается с помощью теории множеств [1]. Для выделения компоненты связности в морфологии используется операция дилатации $\oplus$, т. е. расширение множества на его границах. Итак, если известная точка c находится внутри искомой области, то операция выделения компоненты связности C_k на множестве значений функции $UW^{Z}(x, y)$ выглядит как $C_k = (C_{k-1} \oplus B) \cap A$; $k = 0, 1, \ldots$; $A = \{UW^{Z}(x, y) \mid (UW^{Z}(x, y) = c)\}$; $C_0 = c$, где B – примитив дилатации, здесь это квадрат 3×3.

Выполнение заливки завершается, когда $C_k = C_{k-1}$. Элементы множества C_k представляют изображение связной области равных значений, для которого необходимо определить центр тяжести. Центр тяжести для области, где все значения равны можно определить путем нахождения точки внутри ограничивающего область прямоугольника, в которой пересекаются горизонтальная и вертикальная линии так, что по обе стороны от каждой из них лежат равномощные подмножества исследуемой области C_k. Далее необходимо найти ближайшую в смысле евклидова расстояния от центра тяжести точку, принадлежащую C_k (так как область может иметь, например, форму кольца), и признать ее новым центром роста.

Определив центры кристаллизации, следует непосредственно перейти к выращиванию областей. Преследуя цель полной корректной сегментации изображения, здесь необходимо разработать интегрированный подход к данному процессу, а не просто использовать многократное приложение описанного выше метода с разными параметрами для каждого сегмента. Из этого следует, что алгоритм при каждом своем шаге должен учитывать ситуацию на всех растущих сегментах изображения, т. е. быть связным. Тогда, вероятно, стоит выбрать критерием остановки сегментации полное заполнение сегментами всего изображения, но прибавлять на каждом шаге не по пикселу к каждой области, а лишь единственный пиксел, наиболее близкий в данный момент к одной из областей. Так можно достигнуть неравномерного роста сегментов, соответствующего реальной ситуации и универсально решить проблему выбора критерия остановки процесса выращивания.

Естественно, все пикселы-кандидаты, претендующие на включение в какой-либо сегмент, должны быть смежными со своими областями, т. е. находиться на внешней их границе, которую удобно выделять с помощью методов морфологии. Внешняя граница Gr области Reg (Gr и Reg – множества пикселов) может быть определена как $Gr = (Reg \oplus B) \setminus Reg$.

Далее следует искать среди выделенных граничных пикселов единственный максимально близкий к смежной области по какому-либо признаку. Близость граничного пиксела и исследуемой области будем определять двумя способами:

– расстоянием α между значением цвета пиксела и средним значением области, $\alpha_{x,y} = D(\overline{g}_{x,y}, \overline{M}(Reg))$, где $\overline{g}_{x,y} = \overline{p}_{x,y}$, $\overline{g}_{x,y} \in Gr$;

– расстоянием β в Z-мерном пространстве вейвлет-статистики $W_{x,y}^{l}$, $l = 1, 2, \ldots, Z$ между вектором $\overline{w}_{Gr,x,y}^{Z}$, принадлежащим граничному пикселу и средним значением для соответствующей области; здесь расширим операции нахождения среднего и евклидова расстояния на случай Z-мерного пространства, $\beta_{x,y} = D(\overline{w}_{Gr,x,y}^{Z}, \overline{M}(\{\overline{w}_{Reg,x,y}^{Z} \mid \overline{p}_{x,y} \in Reg\}))$, $\overline{w}_{x,y}^{Z} = [W_{x,y}^{1}, W_{x,y}^{1}, \ldots, W_{x,y}^{Z}]$.

Таким образом, в результате анализа параметров областей и прилегающих к ним пикселов будет найдена та-

кая точка $\overline{g}_{x,y}$, что расстояние α или β для нее будет минимально среди всех пикселов, входящих в множество *Gr*. Эта точка должна быть объединена с соответствующим сегментом. Процесс выращивания областей завершается, когда в множество пикселов всех областей будут включены все пикселы изображения.

Вероятно, что в общем случае описанный метод не позволит провести корректную сегментацию, так как центров кристаллизации (локальных минимумов) на градиентном изображении вейвлет-статистики, а значит и сегментов на оригинале, скорее всего будет выделено больше, чем областей, воспринимаемых человеком, что приведет к избыточной сегментации. Эту проблему можно решить с помощью объединения областей на уже сегментированном изображении. Используем здесь тот же принцип действия, что и при выращивании, и будем искать на каждом шаге пару соседних областей наиболее близких друг к другу. Кандидатами на объединение могут быть любые две соседние области, при этом расстояние (α или β) может определяться с помощью тех же выражений, что и при выращивании, с той лишь разницей, что вместо значения параметра для одного пиксела в обоих случаях используются средние значения для областей. Те две области, которые будут иметь минимальное расстояние d^k друг от друга на *k*-м шаге слияний должны быть объединены, и так до тех пор, пока не останется единственная область, равная всему изображению. Но тогда встает вопрос о критерии окончания процесса, о шаге, на котором сегментированное изображение будет наилучшим образом соответствовать человеческому восприятию оригинала либо давать информацию, максимально облегчающую задачу дальнейшего распознавания образов. Выявление этого момента, вероятно, может быть осуществлено при анализе последовательности допущенных отклонений характеристик областей во время их объединения. Можно предположить, что эта функция будет монотонно возрастать, так как по мере объединения областей придется допускать все большие отклонения их параметров. В таком случае с помощью дифференцирования данной последовательности можно определить момент, после которого при слиянии очередной пары пришлось сделать допущение, сильно отличающееся от соседних, т. е. необходимо найти глобальный максимум первой производной последовательности отклонений d^k. Тогда шаг остановки слияний *t* найдем как

$$t = \arg_k(\max\{\Delta d^k,\ k = 1, 2, \ldots\}),$$
$$\Delta d^k = d^{k+1} - d^k.$$

В окончание необходимо сделать возврат в слияниях сегментов к результатам шага *t* и завершить работу метода.

Описанный метод сегментации представим в общем виде схемой алгоритма (рис. 2).

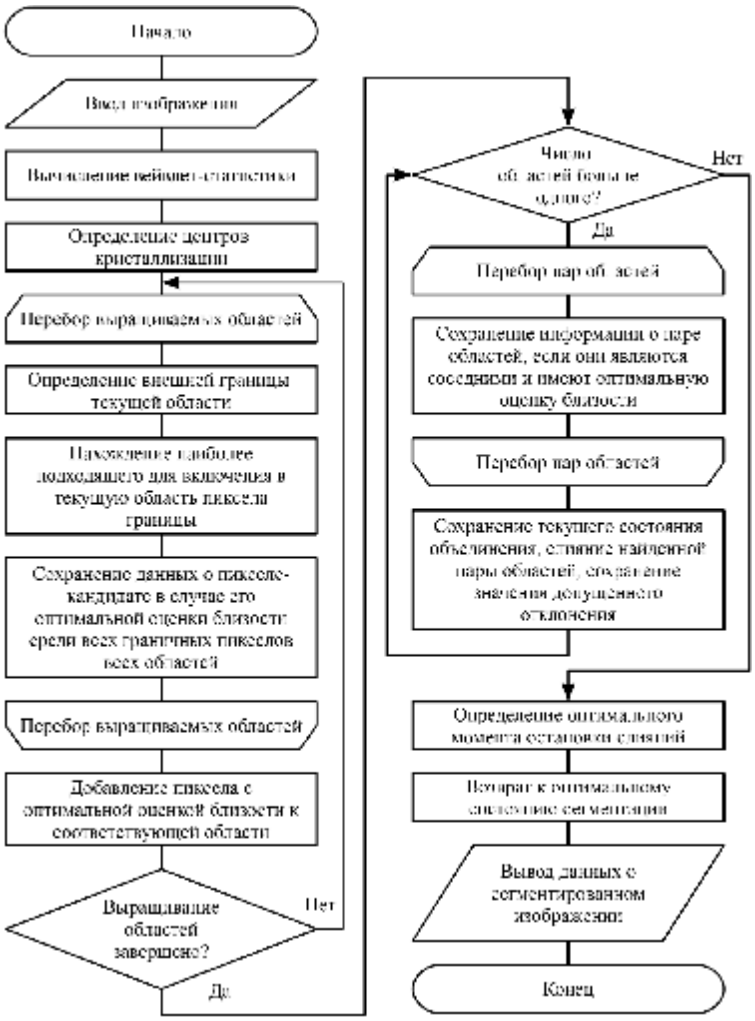


Рис. 2

Рассмотрим результаты работы предложенного подхода на различных изображениях. Сначала используем простое двухцветное изображение (рис. 3, слева) для испытания работы метода определения центров кристаллизации. Здесь же представлено изображение рассчитанной вейвлет-статистики (рис. 3, центр) и изображение центров кристаллизации (рис. 3, справа).

Видно, что центры кристаллизации (контрастные пометки-крестики) были выделены по одному в каждой однородной области цвета. При этом каждая отмеченная точка расположена в центре тяжести своей области, хотя значения вейвлет-статистики (градиента) внутри области равны нулю. Такого результата удалось достичь благодаря использованию морфологического алгоритма заливки при минимизации функции вейвлет-статистики $UW^2(x, y)$.

Теперь применим алгоритм к достаточно простому с точки зрения выделения областей изображению клеток крови (рис. 4, слева).

Слева на рис. 4 – исходное изображение, в центре – сегментированное изображение после выращивания областей, справа – сегментированное изображение после слияния областей. Представленные на рис. 4 сегментированные изображения получены в полностью автоматическом режиме работы алгоритма; каждый показанный на рис. 4, справа сегмент имеет набор индивидуальных значений декрипторов. Разумеется, здесь были введены основные настройки метода (вейвлет-статистика первого уровня, выращивание и слияние по цвету), но значения данных параметров влияют на результат работы метода в гораздо меньшей степени, чем, например, значение выделяемого цвета в пороговом преобразовании или в простом выращивании областей. Достаточно сказать, что вариации цвета объектов на рис. 4, слева и небольшие искажения не повлияют на результат сегментации. Следовательно, предложенный метод сегментации обладает высокой степенью устойчивости и автоматизации.

Проверим способность метода к сегментации текстурных изображений (рис. 5, слева). Для данного изображения может быть удачно применен многомасштабный анализ большей глубины (например, до четвертого уровня) и использование полученной вейвлет-статистики в самом процессе сегментации, так как в таком случае будет задействована частотная информация об изображении.

В данном случае (рис. 5, центр) автоматическая остановка слияний не сработала должным образом, но изображение, полученное на более ранней стадии объединения областей (рис. 5, справа) показывает способность метода к текстурной сегментации.

Подводя итог, выделим прогрессивные черты предложенного метода сегментации и его достоинства перед существующими:

– метод использует информацию о связности областей;

– интегрированная структура метода; динамичность, адаптивность процесса выращивания и слияния областей с возможностью привлечения различных данных об исследуемой сцене;

– использование частотной информации, предоставляющее возможность сегментации текстурных изображений;

– высокий уровень автоматизации.

Недостатки метода:

– сложность алгоритмов;

– высокие требования к ресурсам ЭВМ.

Помимо самого алгоритма сегментации в данной работе были представлены другие новые идеи:

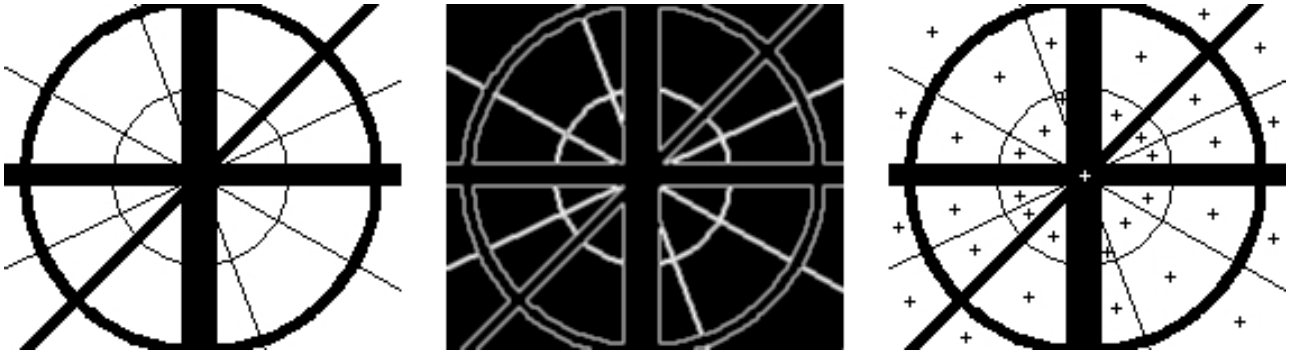


Рис. 3

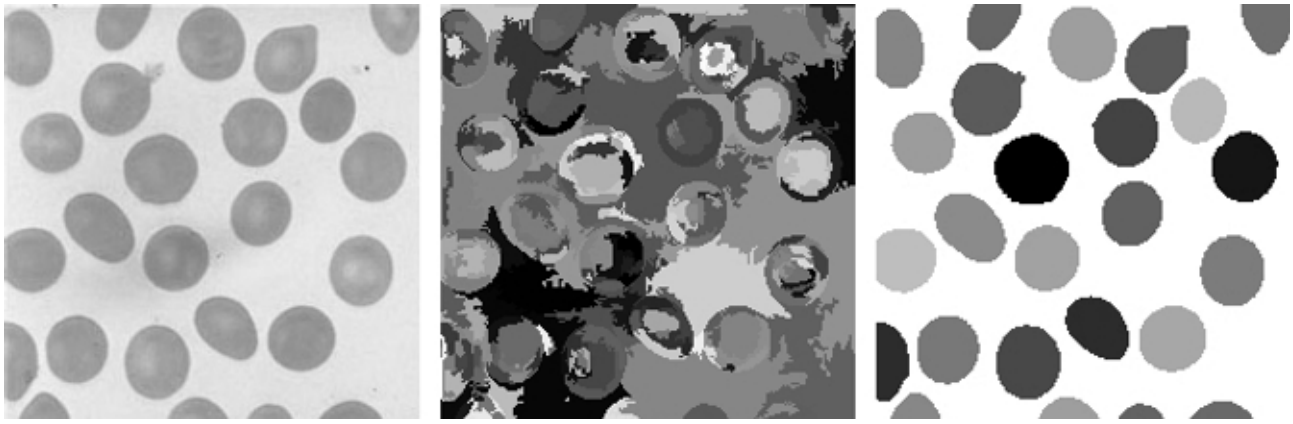


Рис. 4

– схема многомасштабного анализа изображения с выделением частотной информации;

– алгоритм минимизации двумерной функции, использующий морфологическую заливку;

– совмещение выращивания и слияния областей;

– критерий определения оптимального момента остановки слияний.

Библиографические ссылки

1. Гонсалес Р. С., Вудс Р. Э. Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2005.

2. Steinbrecher R. Bildverarbeitung in der Praxis [Электронный ресурс]. URL: http://www.rst-software.de/dbv/download.html.

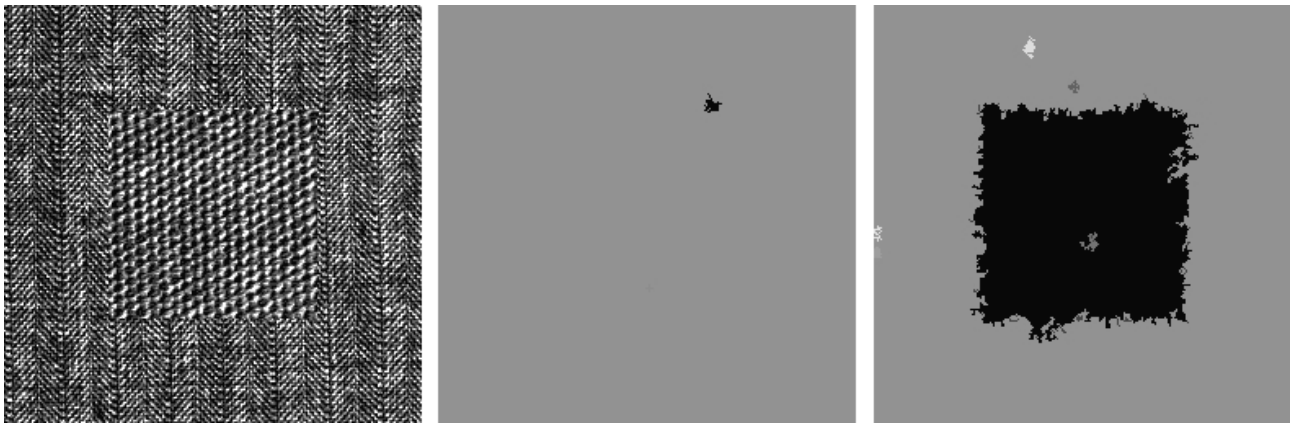


Рис. 5

I. N. Palamar, P. V. Sizov

METHODS OF IMAGE SEGMENTATION WITH THE HELP OF AREAS GROWING AND MULTISCALE ANALISYS

In this article we analyze advantages and disadvantages of existing methods of image segmentation. We develop an original algorithm of segmentation with usage of the method of areas growing and multiscale analysis. Researches of capabilities of this method according to different images are performed now.

Keywords: segmentation, image, growing, wavelet.

© Паламарь И. Н., Сизов П. В., 2010

УДК 621.396.43

В. И. Носов, В. Н. Бактеев, Л. А. Штанюк

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЧКИ РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИОТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

При строительстве новых или реконструкции действующих передающих станций возникает задача определения их оптимальных местоположения и технических параметров. Для определения оптимального местоположения станций необходимо производить расчет напряженностей полей сигналов и помех с учетом профилей интервалов, построенных в направлении от местоположения станции до границы зоны вещания. Рассматривается решение задачи оптимизации местоположения радиотелевизионной передающей станции посредством расчета зон обслуживания и зон теней вещательных передатчиков с использованием автоматизированной системы расчетов и географической информационной системы.

Ключевые слова: телевизионное вещание, зона обслуживания, геоинформационная система.

Основной проблемой при проектировании сети наземного телевизионного (ТВ) и звукового (ЗВ) вещания является определение действительной зоны обслуживания радиотелевизионной передающей станции (РТПС) [1–6]. Только определив зоны обслуживания и зоны тени, можно оптимально разместить передающие станции, что сократит расходы не только на строительство новых станций, но и на их обслуживание.

Для вычисления зоны обслуживания и зоны тени необходимы следующие данные: высота подвеса передающей антенны над уровнем земли h_1; мощность передатчика; усиление передающей антенны $G_{пд}$; КПД фидера передающего устройства $\eta_{пд}$; несущая частота передатчика f; минимальная напряженность поля принимаемого сигнала $E_{мин}$; кривые МСЭ-Р для определения напряженности поля; географические координаты места установки антенной опоры; географическая информационная система (ГИС) региона.

Все расчеты производятся по профилям интервалов. Профиль интервала отображает вертикальный разрез местности между передающей и приемной антеннами по какому-либо направлению. При построении профиля интервала приемная антенна высотой $h_2 = 10$ м [5] располагается на расстоянии прямой видимости от передающей антенны РТПС. Количество направлений (через равное количество градусов) определяет точность определения параметров РТПС.

Исходные данные. Для решения поставленной задачи – оптимизации местоположения РТПС – необходимо определить радиусы зоны вещания РТПС в каждом из направлений. Для определения радиуса зоны вещания, с учетом приведенных выше данных, необходимо рассчитать напряженность поля сигнала, для которого на границе зоны вещания должно выполняться условие

$$E_с = E_{мин}, \tag{1}$$

где $E_{мин}$ – минимальная напряженность поля сигнала в точке расположения антенны приемника, при которой обеспечивается удовлетворительное качество изображения, при отсутствии помех от других станций, дБмкВ/м; $E_с$ – напряженности поля сигнала в рассматриваемой точке, дБмкВ/м.

Напряженность поля сигнала $E_с(R, h_1, f)$ в точке на расстоянии от передатчика определяется выражением

$$E_с\left(R, h_1, f\right) = E\left(50, 50, R, h_{1эф}, f\right) + P_{изл}, \tag{2}$$

где $E_с(50, 50, R, h_1, f)$ – медианное значение напряженности поля, определяемое по кривым, полученным экспериментальным путем и рекомендованным МСЭ-Р для: излучаемой мощности $P_{изл} = 1$кВт; высоты приемной антенны $h_2 = 10$ м; эффективной высоты передающей антенны $h_{1эф}$; заданной частоты f [3]; T – процент времени наблюдений, равный 50 % для поля полезного передатчика; L – процент мест приема, равный 50 % для поля полезного передатчика; $P_{изл} = P_{пд} + G_{пд} + \eta_{пд}$ – излучаемая мощность передающей станции, дБкВт; $P_{пд}$ – мощность передатчика, дБкВт; $G_{пд}$ – коэффициент усиления передающей антенны относительно полуволнового диполя, дБд; $\eta_{пд}$ – потери в фидере, дБ.

Эффективная высота подвеса передающей антенны $h_{1эф}$ определяется из выражения

$$h_{1эф} = h_1 + \left(h_{e0} - z_{ср}\right), \tag{3}$$

где $z_{ср}$ – среднее значение высотных отметок местности на профиле интервала на расстоянии от 3 до 15 км от передающей антенны в сторону точки приема; h_{e0} – высотная отметка местности в точке расположения передающей антенны.

Среднее значение высотных отметок местности $z_{ср}$ определяется из выражения

$$z_{ср} = \sum_{i=3}^{15} h_{ei} \Big/ \sum i. \tag{4}$$

Известно [1], что радиоволны I…V диапазонов (диапазон частот от 47 до 960 МГц) распространяются в зоне прямой видимости $R_{пр}$. Поэтому считается, что радиус зоны вещания ограничивается приблизительно предельным расстоянием прямой видимости. Это объясняется тем, что за радиогоризонтом довольно резко понижается качество приема вследствие заметного замирания сигнала, связанного с наличием отраженных сигналов от тропосферы. Поэтому радиус зоны вещания $R_з$ передающей вещательной станции примем равным расстоянию прямой видимости $R_з = R_{пр}$. Расстояние прямой видимости с учетом рефракции радиоволн рассчитывается по формуле

$$R_{пр} \approx 4{,}12 \cdot \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right) \text{ км}, \tag{5}$$

где h_1 и h_2 – подставляются в метрах.

Передающая станция должна иметь такую необходимую излучаемую мощность $P_{изл.\ необх}$ которая обеспечивает минимальную напряженность поля на расстоянии прямой видимости при $R_з = R_{пр}$:

$$E_с\left(h_1, R_з, f\right) = E_{мин} = E_c = \left(50, 50, h_1, R_з, f\right) + P_{изл.\ необх}. \tag{6}$$

Из (6) можно определить необходимую излучаемую мощность передающей станции, при которой обеспечивается минимальная напряженность поля на границе зоны вещания:

$$P_{изл.\ необх} = E_{мин} - E_c\left(50, 50, h_1, R_з, f\right). \tag{7}$$

Если внутри зоны вещания выполняются следующие условия:

$$\begin{cases} R \le R_з, \\ E_с\left(50, R\right) \ge E_{мин}, \end{cases} \tag{8}$$

то такие области относятся к зоне обслуживания.

Если же внутри зоны вещания выполняются следующие условия:

$$\begin{cases} R \le R_з, \\ E_с\left(50, R\right) < E_{мин}, \end{cases} \tag{9}$$

то такие области относятся к зонам тени.

Поскольку кривые МСЭ-Р получены на основе усреднения результатов многочисленных измерений, то ими нельзя пользоваться для определения зон обслуживания и тени. Из проведенных выражений следует, что для определения зоны обслуживания и тени необходимо использовать профили интервалов, построенных в разных направлениях от места расположения РТПС. При этом расчет напряженности поля производится путем расчета множителя ослабления поля свободного пространства по методике принятой в радиорелейных линиях связи [7; 8].

Расчет множителя ослабления с использованием профилей интервалов. Медианный множитель ослабления поля свободного пространства $V(50)$ показывает, на сколько уменьшается напряженность поля сигнала для 50 % времени с учетом реальных условий распространения радиоволн E_0, по сравнению с их распространением в свободном пространстве:

$$V\left(50, R\right) = \frac{E_с\left(50, R\right)}{E_0\left(R\right)}. \tag{10}$$

В соответствии с (10) напряженность поля сигнала в месте приема $E_с(50, R)$ определяется из выражения

$$E_{\text{с}}\left(50,R\right)=E_0\left(R\right)+V\left(50,R\right),\ \text{дБмкВ/м}. \quad (11)$$

Напряженность поля сигнала в свободном пространстве $E_{\text{с}}(R)$ в (11) рассчитывается по формуле

$$E_0\left(R\right)=\frac{\sqrt{30\cdot P_{\text{изл}}}}{R}. \quad (12)$$

Таким образом, для определения медианной напряженности поля сигнала в соответствии с формулой (11) необходимо определить медианной значение множителя ослабления $V(50, R)$ с использованием профилей интервалов.

Расстояние от точки отражения до линии, соединяющей передающую и приемную антенны, называется просветом H. Для классификации интервалов вводится минимальная величина просвета H_0, при котором множитель ослабления $V = 1$:

$$H_0=\sqrt{\frac{R\cdot\lambda\cdot k\left(1-k\right)}{3}}\ \text{м}, \quad (13)$$

где R – протяженность интервала, м; λ – длина волны, м; $k = R_1/R$ – относительная координата точки отражения.

В зависимости от соотношения величин просветов H и H_0 интервалы подразделяются на открытые $H \geq H_0$; полуоткрытые $0 < H < H_0$; и закрытые $H \leq 0$.

Открытые интервалы. На открытых интервалах имеется прямая видимость между антеннами и в точку приема приходят прямой и отраженный лучи. В приемной антенне происходит интерференция этих волн, множитель ослабления рассчитывается по формуле [2; 7; 8]

$$V\left(50,R\right)=10\lg\left[1+\left|\Phi\right|^2-2\left|\Phi\right|\cos\left(\frac{2\pi\Delta r}{\lambda}\right)\right], \quad (14)$$

где $|\Phi|$ – модуль коэффициента отражения волны от земной поверхности; $\Delta r = r_{\text{отр}} - r_{\text{пр}}$ – разность хода отраженной и прямой волн.

При распространении радиоволн над ровной земной поверхностью

$$\Delta r=\frac{2h_1h_2}{R}. \quad (15)$$

Полузакрытые и закрытые интервалы. Такие виды интервалов рассматриваются вместе, так как для них справедлива одинаковая зависимость множителя ослабления от величины просвета. На таких интервалах отсутствует прямая видимость между антеннами, и прямой луч экранируется препятствием. Для упрощения расчета множителя ослабления экранирующее препятствие на интервале представляют в виде сферы или клина.

Препятствия в виде сферы или клина характеризуются высотой H и шириной r_b, по которым рассчитывается параметр μ:

$$\mu=2\cdot\sqrt{\frac{k^2\left(1-k\right)^2}{\left(r_b/R\right)^2}}. \quad (16)$$

Величина множителя ослабления на рассматриваемых интервалах при $H = 0$, когда линия, соединяющая антенны, касается экранирующего препятствия, равна, дБ [2]

$$\begin{cases} V_0=6\cdot\left[1+\left(\dfrac{1,45}{\mu^{1,38}}\right)\right],\ \text{при}\ \mu\geq 0,5, \\ V_0=100\cdot\mu-78,\ \text{при}\ \ \mu<0,5. \end{cases} \quad (17)$$

По найденным значениям V_0 из формулы (17), H_0 из формулы (14) и определенной величине просвета H, м, на интервале, можно определить медианное значение множителя ослабления $V(50)$, дБ:

$$V\left(50,R\right)=V_0\left[1-\left(H/H_0\right)\right]. \quad (18)$$

Оптимизация местоположения РТПС. Полученные выше соотношения позволяют определить на каждом из интервалов (лучей) элементарные участки протяженностью $\Delta R_{\text{э}}$, которые относятся к зоне обслуживания $\Delta R_{\text{э обсл}}$ при выполнении условия (8); к зоне тени $\Delta R_{\text{э тени}}$ при выполнении условия (9) [6]. Протяженность элементарного участка $\Delta R_{\text{э}}$, определяет точность, с которой осуществляется расчет зон обслуживания и тени. В соответствии с формулами расчета множителя ослабления с использованием профилей интервалов, условия, при которых элементарный участок на профиле i-го интервала (луча) можно отнести к зоне обслуживания, определяется функцией

$$\begin{gathered}\Delta R_{\text{э обсл}\,i}=\varphi\left[R\leq R_i;E_{\text{с}}\left(50,R\right)=E_0\left(R\right)\geq E_{\text{мин}}\right]; \\ V\left(50,R\right)=1;H\geq H_0.\end{gathered} \quad (19)$$

В соответствии с теми же формулами второго раздела условия, при которых элементарный участок на профиле i-го интервала (луча) можно отнести к зоне тени, определяется функцией

$$\Delta R_{\text{э тени}\,i}=\psi\times \\ \times\begin{bmatrix} R\leq R_i;E_c\left(50,R\right)=E_0\left(R\right)+ \\ +V\left(50,R\right)<E_{\text{мин}};\ H<H_0; \\ V\left(50,R\right)=V_0+\left(1+H/H_0\right). \end{bmatrix} \quad (20)$$

Обозначим расстояние между соседними лучами через $\Delta R_{\text{мл}}$ Необходимо учесть, что это расстояние увеличивается по мере увеличения расстояния от передающей станции. Тогда, с учетом формул (19) и (20), можно определить площадь зон обслуживания и тени по каждому из i лучей:

$$S_{\text{обсл}\,i}=\sum\nolimits_{j=1}^{M}\Delta R_{\text{э обсл}\,j}\cdot\Delta R_{\text{мл}}, \quad (21)$$

$$S_{\text{тени}\,i}=\sum\nolimits_{k=1}^{K}\Delta R_{\text{э тени}\,k}\cdot\Delta R_{\text{мл}}, \quad (22)$$

где M – количество элементарных обслуживаемых участков; K – количество элементарных необслуживаемых (теневых) участков.

Общую зону обслуживания и тени РТПС можно найти путем суммирования зон обслуживания и тени по всем i лучам

$$S_{\text{обсл РТПС}}=\sum\nolimits_{i=1}^{N}\sum\nolimits_{j=1}^{M}\left(\Delta R_{\text{обсл}\,j}\cdot\Delta R_{\text{мл}}\right)_i, \quad (23)$$

$$S_{\text{тени РТПС}}=\sum\nolimits_{i=1}^{N}\sum\nolimits_{k=1}^{K}\left(\Delta R_{\text{э тени}\,k}\cdot\Delta R_{\text{мл}}\right)_i. \quad (24)$$

На основе формул (19)–(24) разработана автоматизированная система определения зон обслуживания и тени РТПС с использованием ГИС.

Пример расчета автоматизированной системой зон вещания, обслуживания и тени РТПС приведен на рис. 1.

С использованием разработанной автоматизированной системы проводится оптимизация местоположения РТПС. Суть такой оптимизации заключается в том, что в окрестности предполагаемого или существующего мес-

тоположения РТПС выбирается несколько наиболее высоких точек рельефа местности. При заданной высоте подвеса передающей станции h_1 для каждой из этих точек по формулам (23) и (24) определяются зоны обслуживания $S_{l\ \text{обсл РТПС}}$ и зоны тени $S_{l\ \text{тени РТПС}}$.

За основу при проведении оптимизации местоположения РТПС целесообразно выбрать ее максимальную зону вещания, которая определяется для гладкой сферической земли, т. е. без учета рельефа местности

$$S_{\text{макс}} = \pi \cdot R_{\text{з}}^2 = \pi \cdot R_{\text{пр}}^2 . \qquad (25)$$

Максимальная зона вещания РТПС одинакова для всех рассматриваемых точек расположения, поэтому оптимальной точкой местоположения РТПС будет та l-я точка, в которой выполняется условие

$$\Delta S_l = \pi \cdot R^2_{\text{пр}} - \left(\begin{array}{l} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \left(\Delta R_{\text{э обсл}\,j} \cdot \Delta R_{\text{мл}} \right)_i - \\ - \sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{K} \left(\Delta R_{\text{э тени}\,k} \cdot \Delta R_{\text{мл}} \right)_i \to \text{мин} \end{array} \right). \qquad (26)$$

Зона вещания РТПС $S_{\text{вещ}}$ определяется с учетом реального рельефа местности, из-за которого радиус зоны вещания уменьшается относительно его максимального значения, равного расстоянию прямой видимости.

Результаты эксперимента. С использованием изложенной методики, для г. Ленинск-Кузнецкого были выбраны пять различных точек расположения РТПС и для них с помощью автоматизированной системы проведены расчеты зон вещания, обслуживания и тени, квадратные километры. Для каждой точки определены северная широта N, градусов, восточная долгота W, градусов и высота He, метров над уровнем моря. Результаты расчетов для одной из точек приведены в таблице.

Зависимости $S_{\text{вещ}}/S_{\text{макс}}$ и $S_{\text{обсл}}/S_{\text{вещ}}$ от высоты подвеса передающей антенны приведены на рис. 2 и 3.

Наиболее удачной точкой расположения РТПС является точка 1 (рис. 2), так как в ней наиболее полно используются энергетические параметры станции – площадь зоны вещания составляет 90–97 % от максимально возможной площади. Наиболее удачной точкой расположения РТПС согласно рис. 3 также является точка 1, так как в ней наибольшая из всех точек расположения зона обслуживания от 51 до 58 % площади зоны вещания для высот подвеса передающей антенны до 200 м.

Результаты расчетов зон вещания, тени и обслуживания для первой точки

1 точка	N: 53,83	W: 87,28	He: 413
h_1, м	75,00	150,00	300,00
$S_{\text{зоны вещ}}$	7 228,08	12 425,51	20 220,35
$S_{\text{тени}}$	3 040,98	5 936,16	10 215,05
$S_{\text{макс}}$	7 453,64	12 662,90	22 372,86
$S_{\text{обслуж}}$	4 187,10	6 489,35	10 005,30
$S_{\text{макс}} - S_{\text{обсл}}$	3 266,54	6 173,55	12 367,56
$S_{\text{обсл}}/S_{\text{макс}}$	0,56	0,51	0,45
$S_{\text{обсл}}/S_{\text{вещ}}$	0,58	0,52	0,49
$S_{\text{вещ}}/S_{\text{макс}}$	0,97	0,98	0,90

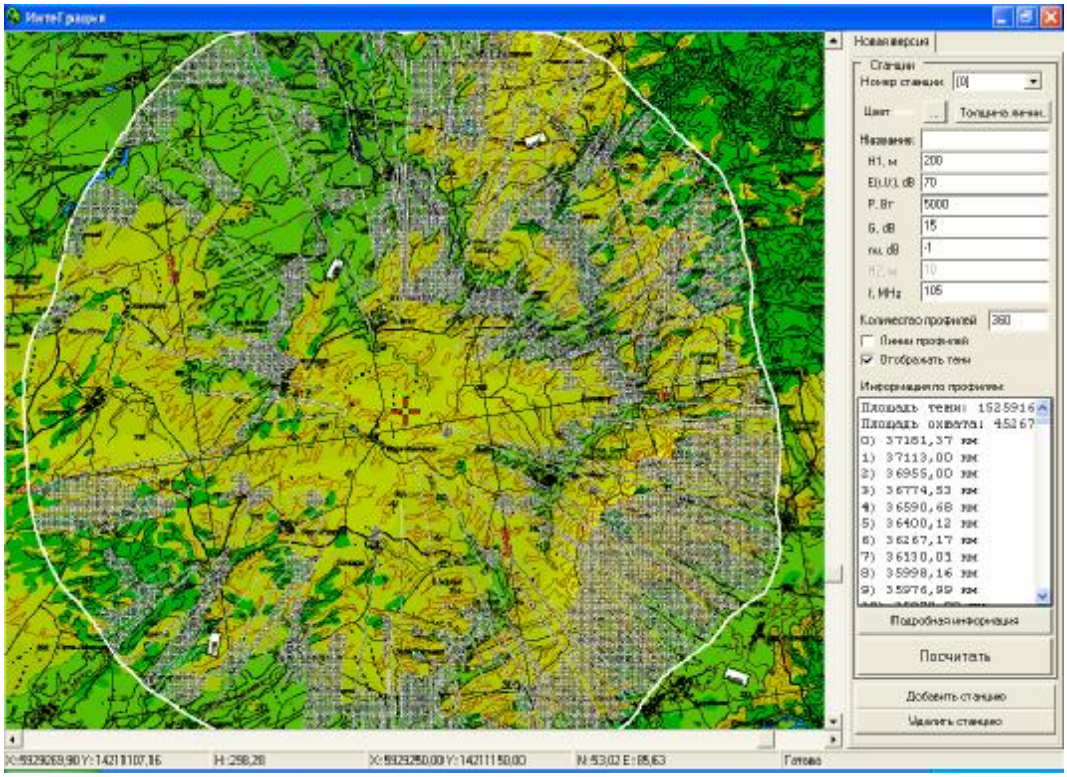


Рис. 1

Таким образом, разработаны методика определения зон обслуживания и зон тени радиотелевизионной передающей станции и автоматизированная система с использованием географической информационной системы для расчета этих зон. Приведен пример определения оптимального местоположения РТПС. Разработанные методика и автоматизированная система позволяют выбрать оптимальное местоположение и оптимизировать технические параметры реконструируемых и вновь вводимых РТПС, что значительно улучшает их технико-экономические показатели. Проведенные исследования являются актуальными в связи с переходом России на цифровое телевизионное вещание, в процессе которого возникает необходимость в реконструкции действующих и установки новых станций.

Библиографические ссылки

1. Носов В. И., Штанюк Л. А. Автоматизированная система расчета зон обслуживания вещательных передатчиков с использованием географической информационной системы // Инфосфера. 2007. № 34.

2. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания : справ. / М. Г. Локшин [и др.]. М. : Радио и связь, 1988.

3. Носов В. И. Оптимизация параметров сетей телевизионного и звукового вещания : моногр. ; СибГУТИ. Новосибирск, 2005.

4. Локшин М. Г. Основы планирования наземных сетей телевизионного и ОВЧ ЧМ вещания. Зоны обслуживания радиостанций // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2006. № 3.

5. Recommendation ITU-R P.1546-1 (Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz). Женева, 2003.

6. Бактеев В. Н., Штанюк Л. А., Носов В. И. Оптимизация местоположения радиотелевизионных передающих станций // Вестник СибГУТИ. 2009. № 4. С. 11–16.

7. Справочник по радиорелейной связи / под ред. С. В. Бородича. М. : Радио и связь, 1981.

8. Носов В. И. Радиорелейные системы передачи : учеб. пособие. Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2008.

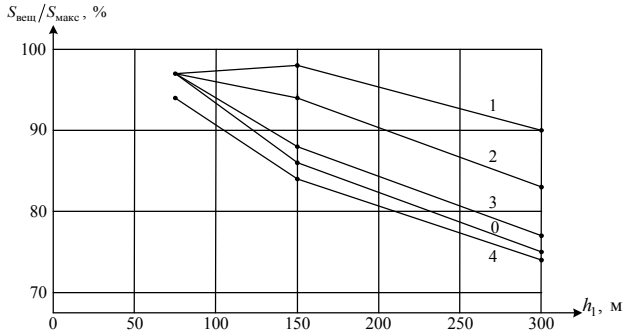


Рис. 2

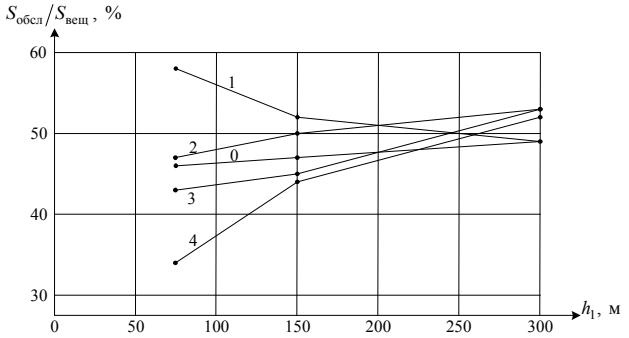


Рис. 3

V. I. Nosov, V. N. Bakteev, L. A. Shtanyuk

OPTIMIZATION OF OPERATING RANGE FOR A RADIO TELEVISION BROADCASTING STATION

In the process of construction of new or reconstruction of the existing transmission stations there emerges a problem of determination of their optimum location and technical parameters. In order to define optimum location of a station it is necessary to calculate signal and interference field intensity, taking into account interval profiles fixed in the direction from the station site to the border of the transmission area. The article discusses the solution of the problem how to optimize location of a radio television broadcasting station analyzing service zones and shadow regions of broadcast transmitters using automated computation system and geo information system.

Keywords: television broadcasting; service zone; geo information system.

© Носов В. И., Бактеев В. Н., Штанюк Л. А., 2010

УДК 004.93ў1; 004.932

А. И. Пахирка

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УЛУЧШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

Представлен алгоритм обработки изображений лиц, включающий три этапа: нелинейное улучшение изображения (сжатие динамического диапазона), локализация лиц на основе цветовой сегментации кожи с последующим выделением антропометрических точек лица. Также рассмотрен процесс распознавания лиц на основе метода главных компонент.

Ключевые слова: сжатие динамического диапазона, локализация лиц, распознавание лиц.

Интерес к распознаванию лиц всегда был значительным, особенно в связи с возрастающими практическими потребностями, такими как биометрия, содержательный поиск изображений, компрессия видеоданных, организация видеоконференций, системы машинного зрения в робототехнике, интеллектуальные системы безопасности и контроля доступа.

Методы распознавания лиц могут быть разделены на две широкие категории: методы, основанные на извлечении особенностей изображения, и методы, основанные на представлении изображения лица. Первая группа методов использует свойства и геометрические отношения, такие как области, расстояния и углы между особыми точками изображения лица. Вторая группа методов рассматривает глобальные свойства изображения лица. Названные методы стараются представить данные изображения лица более эффективно, например, как набор главных векторов. Как правило, алгоритм распознавания лиц включает в себя три этапа: предварительную обработку изображения, локализацию лиц и непосредственное распознавание лиц. В данной работе представлен алгоритм, включающий нелинейное улучшение изображений (сжатие динамического диапазона), локализацию лиц на основе цветовой сегментации кожи, а также распознавание лиц на основе метода главных компонент [1].

На практике захватываемые цифровыми устройствами изображения зачастую отличаются от того, что видит наблюдатель. Это происходит потому, что устройство захвата получает физические значения световых данных, в то время как нервная система наблюдателя обрабатывает эти данные. Например, человек может четко видеть детали, как в глубоких тенях, так и в сильно освещенных областях, в то же время устройство захвата получит данную сцену со слишком темными тенями или засвеченными областями. Человек легко воспринимает сцены с широким диапазоном световых интенсивностей (HDR, High Dynamic Range – высокий динамический диапазон), при этом отношение между максимальной и минимальной яркостью превышает возможности устройства захвата или отображения.

Человек, наблюдая HDR-сцену, локально адаптирует каждую ее часть, благодаря чему может рассматривать детали в плохо освещенных областях так же хорошо, как и в ярко освещенных. Для цифровых устройств HDR-сцена требует сжатия, из-за чего захватываемое изображение зачастую теряет детали в плохо или ярко освещенных областях. Для устройств захвата это решается путем комбинирования изображений, снятых с разной экспозицией (технология HDR в фотографии), в результате которого получается единое изображение, содержащее все детали из всех исходных изображений, как в тенях, так и в освещенных областях. Однако остается проблема отображения данных изображений на цифровых устройствах, обладающих существенно меньшим диапазоном яркостей [2].

В данной работе для улучшения изображения применяется алгоритм Multi-Scale Retinex – MSR, имитирующий визуальную систему человека. MSR-алгоритм сжимает динамический диапазон изображения с сохранением (увеличением) локального контраста в плохо и ярко освещенных областях [3].

Классический многомерный MSR-алгоритм является взвешенной суммой одномерных SSR-алгоритмов (Single-Scale Retinex) для различных масштабов. Одномерная выходная функция i-го цветового канала $R_i(x, y, \mathrm{s})$ вычисляется следующим образом:

$$R_i(x, y, \mathrm{s}) = \log\{I_i(x, y)\} - \log\{F(x, y, \mathrm{s}) * \mathrm{I}_i(x, y)\},$$

где $I_i(x, y)$ – входная функция i-го цветового канала по координатам x и y; s – масштабный коэффициент; знак * обозначает свертку функций; $F(x, y, \mathrm{s})$ – гауссиан, определяемый как

$$F(x, y, \mathrm{s}) = \mathrm{K}e^{-(x2 + y2)/\mathrm{s}2}.$$

При этом коэффициент K выбирается таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\iint_{\Omega_{x,y}} F(x, y, \sigma)\, dx\, dy = 1,$$

где $\Omega_{x,y}$ – множество пикселей, принадлежащих всему изображению.

Тогда многомерная выходная функция i-го цветового канала $R_{Mi}(x, y, w, \mathrm{s})$ определяется как

$$R_{M_i}(x, y, \mathbf{w}, \sigma) = \sum_{n=1}^{N} w_n R_i(x, y, \sigma_n),$$

где $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \ldots, w_m)$, $m = 1, 2, \ldots, M$ – весовой вектор одномерных выходных функций i-го цветового канала $R_i(x, y, \mathrm{s})$; $\mathrm{s} = (_1, _2, \ldots, \mathrm{s}_n)$, $n = 1, 2, \ldots, N$ – вектор масштабов одномерных выходных функций. При этом $\sum_{n=1}^{N} w_n = 1$. Размерность вектора масштабов обычно выбирается не меньше 3. В различных источниках приводятся разные рекомендуемые значения масштабов, в наших экспериментах они составили 15, 90, 180. Весовой вектор w, как правило, имеет элементы с равными значениями.

Функциональная схема модуля улучшения изображения показана на рис. 1. Переход к цветовому простран-

ству *YCbCr* обусловлен тем, что в нем яркостная компонента представлена независимо от других. Поэтому алгоритм применяется только к *Y*-компоненте, не затрагивая *Cb* и *Cr*, что, в свою очередь, увеличивает скорость работы алгоритма. Для Гауссова размытия применяется рекурсивный алгоритм фильтрации, который аппроксимирует гауссиан, с расчетом коэффициентов фильтра для желаемого значения сигма (s), такое представление фильтра работает значительно быстрее, чем стандартная фильтрация с использованием ядра свертки [4].

Пример работы MSR-алгоритма для изображения с низкой освещенностью показан на рис. 2.

После улучшения изображения следует этап локализации лиц на основе цветовой сегментации кожи. Процесс локализации лица на изображении можно разделить на две составляющие:

– выделение участков изображения, имеющих цвет, сходный с цветом кожи человека (цветовая сегментация);

– анализ выделенных после сегментации регионов.

Определение цвета кожи позволяет существенным образом сократить область поиска и является первым шагом во многих методах локализации лица. Человеческая кожа имеет характерный оттенок, позволяющий успешно сегментировать кожу на цветных изображениях. Независимость оттеночной компоненты цвета кожи от ориентации лица, а также его небольшая зависимость от яркости освещения, делают цвет устойчивым признаком кожи. Преимуществами метода цветовой сегментации кожи являются:

– малая вычислительная сложность;

– устойчивость к изменению масштаба и повороту лица;

– устойчивость к изменению освещения;

– устойчивость к изменению выражения лица и частичному перекрытию лица другим объектом сцены.

Цветовая сегментация кожи человека на изображении требует построение определяющих правил, которые будут разделять пиксели цвета кожи и пиксели, не относящиеся по цвету к коже. Для этого вводится метрика, позволяющая измерить расстояние между цветом пикселя и тоном кожи. Даная метрика является моделью распределения цвета кожи в выбранном цветовом пространстве.

Используем метрику для нормализованного RGB-цветового пространства, для которого распределение цвета кожи представлено на рис. 3:

$$\mathrm{Skin}(r,g) = \\ = \begin{cases} 1 & if \ \ (g < g_u)\cdot(g > g_d)\cdot(W > 0{,}0004), \\ 0 & \text{otherwise}, \end{cases}$$

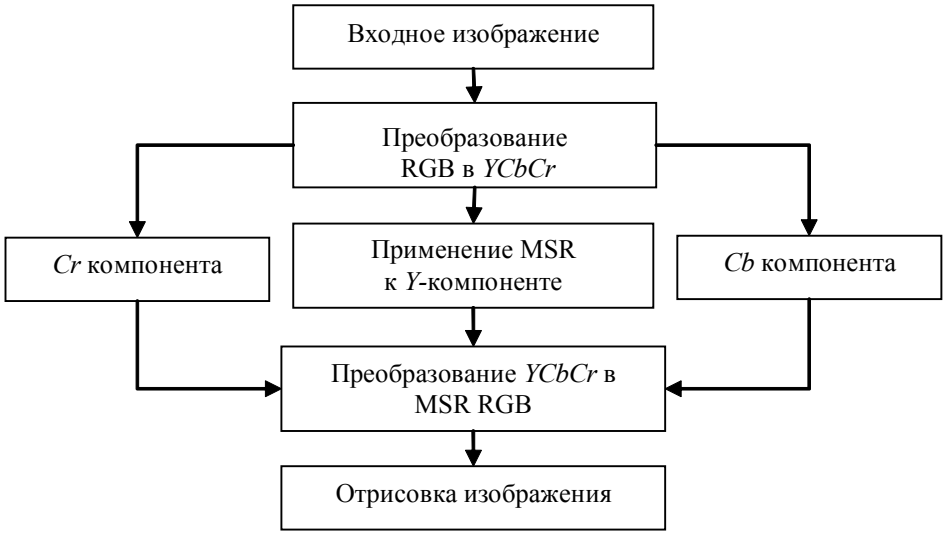


Рис 1. Функциональная схема применения MSR-алгоритма к изображению

а *б*

Рис 2. Пример работы MSR-алгоритма:
а – входное изображение; *б* – выходное изображение после обработки MSR-алгоритмом

где u – верхняя граница; d – нижняя граница. Значения g_u, g_d, W определяются как

$$g_u = J_u r^2 + K_u r + L_u\ ,\ g_d = J_d r^2 + K_d r + L_d\ ,$$

$$W = (r - 0,33)^2 + (g - 0,33)^2,$$

а коэффициенты принимают следующие значения:

$$J_u = -1,377,\ K_u = 1,074,\ L_u = 0,145,$$

$$J_d = -0,776\ \ K_d = 0,560,\ L_d = 0,177.$$

Пример сегментации кожи представлен на рис. 4. Сегментированное изображение подвергается морфологической обработке (сжатие с последующим расширением), которая позволяет разъединить плохо связанные регионы и удалить регионы малого размера (шум). Далее производится маркировка связных областей (рис. 5), после чего в каждой области ищутся антропометрические точки (глаза, нос, губы).

Распознавание лиц осуществляется с помощью метода главных компонент (Principal Components Analysis, PCA), который позволяет уменьшить размерность данных за счет минимизации потерь информации. Метод главных компонент (МГК) один из наиболее часто используемых методов для снижения размерности данных в системах распознавания и сжатия. Данный метод проеци-

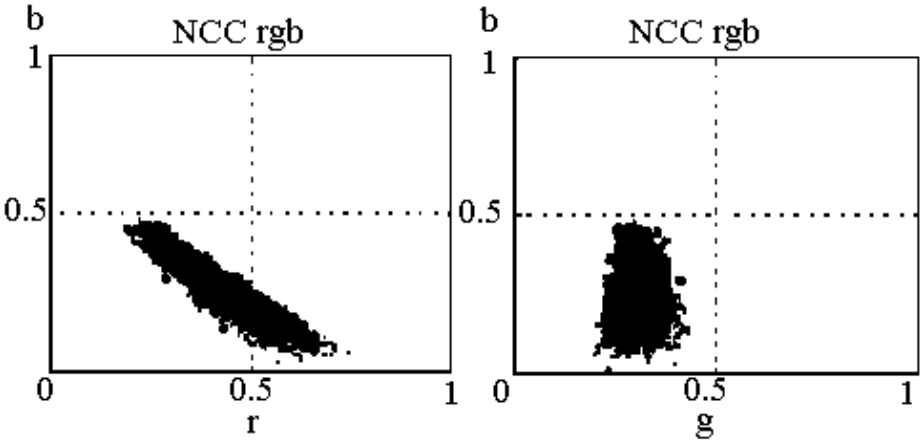


Рис 3. Распределение цвета кожи для нормализованного RGB-пространства

а *б*

Рис. 4. Пример сегментации кожи: *а* – входное изображение; *б* – выходное изображение после применения метрики

а *б* *в*

Рис. 5. Пример локализации лиц: *а* – входное изображение; *б* – морфологическая обработка с маркировкой связанных областей; *в* – выделение антропометрических точек лица

рует пространство изображения в пространство признаков меньшей размерности. Главная идея метода главных компонент состоит в представлении изображений лиц людей в виде набора главных компонент изображений, называемых «собственные лица» (Eigenfaces). Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы, которая рассчитывается из изображения [5].

Любое изображение может рассматриваться как вектор из пикселей, каждое значение которого представлено значением в полутоновой градации. Например, изображение 8×8 пикселей может рассматриваться как вектор длиной в 64 пикселя. Такое векторное представление описывает входное пространство изображения. Для представления и распознавания лиц используем подпространство, созданное собственными векторами ковариационной матрицы исследуемых изображений. Собственные векторы, соответствующие ненулевым собственным значениям ковариационной матрицы, формируют ортогональный базис, который отображает изображения в N-мерное пространство [5]. Каждое изображение сохраняется в векторе размера N:

$$\mathbf{X} = \left[x_1^i \ \cdots \ x_N^i \right]^T, \qquad (1)$$

где x^i – эталонные изображения; $\mathbf{X}$ – матрица эталонных изображений. Изображения центрируются вычитанием из каждого вектора усредненного изображения:

$$\overline{x}^i = x^i - m, \text{ где } m = \frac{1}{P}\sum_{i=1}^{P} x^i . \qquad (2)$$

Эти векторы объединяются, образуя матрицу данных $N \times P$ (где P – количество изображений; $\overline{x}^i$ – центрированное изображение) следующим образом:

$$\overline{\mathbf{X}} = \left[\overline{x}^1 \ \ \overline{x}^2 \ \cdots \ \overline{x}^P \right]. \qquad (3)$$

Матрица данных $\overline{\mathbf{X}}$ умножается на транспонированную матрицу данных для расчета ковариационной матрицы

$$\mathbf{\Omega} = \overline{\mathbf{X}}\overline{\mathbf{X}}^T . \qquad (4)$$

Эта ковариационная матрица $\mathbf{\Omega}$ имеет до P собственных векторов, связанных с ненулевыми собственными значениями, при этом $P < N$. Собственные векторы сортируются от большего значения к меньшему значению в соответствии с их собственными значениями. Собственный вектор с наибольшим собственным значением представляет самую большую дисперсию в изображениях.

Распознавание изображений с использованием проецирования на собственное пространство осуществляется в три этапа:

1. Создается собственное пространство из эталонных изображений (этап обучения).

2. Эталонные изображения проецируются в собственное пространство (этап обучения).

3. Спроецированное входное изображение сравнивается с проецированным тестовым изображением (этап распознавания).

Рассмотрим первый этап – создание собственного пространства, состоящего из следующих шагов:

– центрирование данных: каждое изображение центрируется вычитанием усредненного изображения из каждого эталонного изображения. Усредненное изображение – это вектор-столбец, в который входят средние значения пикселей из всех пикселей эталонных изображений (выражение (2));

– создание матрицы данных: как только входные изображения центрированы, они комбинируются в матрицу данных NЧP (выражение (3));

– создание ковариационной матрицы: матрица данных умножается на ее транспонированное представление (выражение (4));

– вычисление собственных векторов и собственных значений: собственные векторы и их собственные значения вычисляются из ковариационной матрицы

$$\mathbf{\Omega V} = \mathbf{\Lambda V} ,$$

где $\mathbf{V}$ – набор собственных векторов связанных с собственными значениями $\mathbf{\Lambda}$;

– упорядочивание собственных векторов: упорядочиваются собственные векторы v_iО$\mathbf{V}$ в соответствии с их собственными значениями $\lambda_i \in \mathbf{\Lambda}$ от большего значения к меньшему значению. Сохраняются собственные векторы с ненулевыми собственными значениями. Эта матрица собственных векторов является собственным пространством $\mathbf{V}$, где каждый столбец – собственный вектор:

$$\mathbf{V} = \left[v_1 \ \ v_2 \ \cdots \ v_P \right].$$

На втором этапе происходит проецирование эталонных изображений в собственное пространство. Каждое центрированное входное изображение $\overline{x}^i$ проецируется в собственное пространство:

$$\tilde{x}^i = \mathbf{V}^T \overline{x}^i .$$

В рамках третьего этапа происходит распознавание входного изображения. Каждое входное изображение центрируется вычитанием усредненного изображения и затем проецируется в собственное пространство $\mathbf{V}$:

$$\overline{y}^i = y^i - m, \text{ где } m = \frac{1}{P}\sum_{i=1}^{P} x^i \text{ и } \tilde{y}^i = \mathbf{V}^T \overline{y}.$$

Спроецированное входное изображение сравнивается со всеми спроецированными эталонными изображениями. Изображения могут сравниваться с использованием любой из простых метрик, например евклидовой.

В настоящий момент проводится разработка системы нелинейного улучшения изображений в разных цветовых пространствах, планируется использовать алгоритм Multi-Scale Retinex с восстановлением цветов для захвата и обработки видеоизображений, имеющих большой диапазон значений яркостей. Разрабатывается система захвата изображений лиц из видеоизображения, с последующей обработкой и приведением изображений к некоторому «усредненному» виду, снижением влияния освещения, корректировкой положения лица, выбором из видеоданных относительно лучшего изображения лица.

Таким образом, в статье предлагается усовершенствованный подход к распознаванию лиц по изображению, использующий алгоритм нелинейного улучшения изображения, который позволяет скомпенсировать тени и блики. Также проведенный анализ цветовых пространств позволяет повысить качество распознавания сегментов кожи и антропометрических точек лица.

Библиографические ссылки

1. Jain K., Flynn P., Ross A. Handbook of Biometrics. Springer, 2008.
2. Meylan L., Susstrunk S. Bio-inspired color image enhancement // SPIE Electronic Imaging. San Jose. 2004. P. 46–56.
3. Tao L., Asari K. V. Nonlinear enhancement of color images // SPIE Journal of Electronic Imaging. 2005. Vol. 14. P. 1.1–1.14.
4. Young T., Van Vliet L. J. Recursive Implementation of the gaussian filter // Signal Processing 44. Elsevier, 1995.
5. Yambor W. Analysis of PCA-based and Fisher discriminant-based image recognition algorithms : Technical Report CS-00-103, 2000.

A. I. Pakhirka

IMAGE ENHANCEMENT FOR FACE RECOGNITION SYSTEM

Three steps face recognition algorithm is proposed. We used the method of image enhancement based on high dynamic range compression, face detection algorithm based on skin color information, face recognition process based on principal components analysis method is considered as well.

Keywords: high dynamic range, face detection, face recognition.

© Пахирка А. И., 2010

УДК 681.332.53/519.676

Е. И. Алгазин

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ НЕКОГЕРЕНТНОМ ПРИЕМЕ И НЕТОЧНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОРОГОВ

Рассматривается инвариантная система обработки информации, основанная на линейном детекторе при неточном определении порогов. Проводится количественная оценка помехоустойчивости такой системы с последующим сравнением ее с помехоустойчивостью обычной бинарной системы при некогерентном приеме.

Ключевые слова: инвариантная система, помехоустойчивость.

Основным требованиям к системам обработки информации является ее безыскаженная передача по каналам связи с переменными параметрами.

Существуют методы, которые сводятся к использованию АРУ, разнесенного приема, адаптивных методов с обучающим сигналом, систем с обратной связью.

Эти методы имеют как положительные, так и отрицательные стороны. Одним из отрицательных моментов указанных выше методов является трудность реализации алгоритмов передачи сигналов с многоуровневой амплитудной модуляцией.

В предлагаемой работе синтезирован алгоритм передачи многоуровневых амплитудно-модулированных сигналов по каналам с переменными параметрами и произведена количественная оценка помехоустойчивости при некогерентном приеме.

Постановка задачи. Имеется канал связи, ограниченный частотами $f_н$ и $f_в$. Состояние канала связи определяется интервалом стационарности, внутри которого действие мультипликативной помехи описывается постоянством коэффициента передачи $k(t)$ на определенной частоте.

Алгоритм приема определяется несущей частотой, задаваемой как средняя частота канала, амплитуда которой промодулирована прямоугольными импульсами.

Требуется определить технические характеристики инвариантной системы передачи при неточном определении порогов.

Решение поставленной задачи. Каждый передаваемый блок будет содержать информационную часть и последовательность обучающих сигналов $S_{об}$.

На приемной стороне обучающие сигналы усредняются и используются для демодуляции информационной части блока.

При этом из-за изменения параметров канала связи информационные и обучающие сигналы зашумлены аддитивной помехой.

Для уменьшения влияния аддитивных шумов канала связи используется операция усреднения обучающих сигналов в каждом блоке [1].

Проведем анализ помехоустойчивости инвариантной системы (рис. 1), где использованы два канала обработки.

В первом канале, состоящем из синхронного детектора (СД) и первого решающего устройства (РУ1), производится оценка коэффициента передачи канала и дисперсии нормального шума, которые в дальнейшем используются для расчета порогов при демодуляции инвариантов.

Во втором канале использована некогерентная система с линейным детектором (ЛД) и вторым решающим устройством (РУ2). В этом канале собственно и демодулируются сигналы приема.

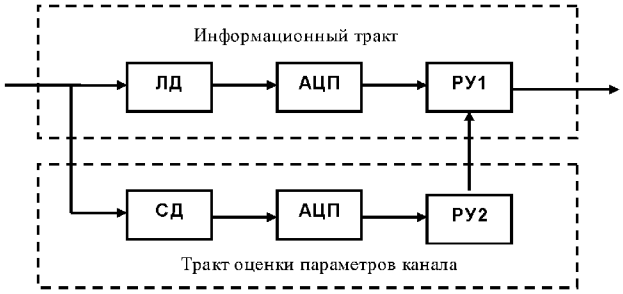


Рис. 1. Укрупненная структурная схема инвариантной системы: ЛД – линейный детектор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; РУ1 – решающее устройство первое; СД – синхронный детектор; РУ2 – решающее устройство второе

Оценим количественные показатели предлагаемого метода.

Работа информационного тракта. Принцип работы информационного тракта состоит в выделении огибающей сигналов приема совместно с нормальным шумом с помощью ЛД. Результат преобразования в АПЦ в дальнейшем записывается в РУ1.

В РУ1 производится вынесение решения в пользу того или иного инварианта.

Как известно [2], при использовании ЛД появляется смещение математического ожидания. Математическое ожидание вычисляется по следующей формуле [2]:

$$m_{\text{р}} = \sigma\sqrt{\frac{\pi}{2}}\left\{I_0\left(\frac{\alpha^2}{4\sigma^2}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}\left[I_0\left(\frac{\alpha^2}{4\sigma^2}\right)+I_1\left(\frac{\alpha^2}{4\sigma^2}\right)\right]\right\}e^{-\frac{\alpha^2}{4\sigma^2}}, \qquad (1)$$

где m_p – величина математического ожидания; σ^2 – дисперсия компонент нормального шума; I_0 и I_1 – модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядков; $\alpha = k\cdot\text{INV}_l$, где k – коэффициент передачи канала; INV_l – l-й передаваемый инвариант.

Величина дисперсии на выходе ЛД вычисляется по следующей формуле [2]:

$$\sigma_p^2 = m_2 - m_p^2 = 2\sigma^2 + \alpha^2 - m_p^2. \qquad (2)$$

Для принятия решения в пользу того или иного инварианта необходимо знать значения порогов для каждой пары инвариантов.

В свою очередь, для оценки порогов необходимо вычислять m_p и σ_p^2.

Это можно сделать с помощью тракта оценивания параметров канала (рис. 1), где производится расчет величин k и σ^2.

Совместная работа информационного тракта и тракта оценки параметров канала состоит в приеме и записи в РУ1 и РУ2 значений амплитудно-модулированных информационных и обучающих сигналов некогерентным приемником и вычислению на их основе оценки инварианта.

На основе последней и вычисленных порогов принимается решение в пользу того или иного инварианта.

Произведем расчет вероятности ошибочного приема при многоуровневой инвариантной амплитудно-модулированной передаче сигналов. Для этого воспользуемся известным подходом [3]:

$$P_{\text{пер}} = P_1\int_0^{z_p} W_2(z)\,dz + P_2\int_{z_p}^{\infty} W_1(z)\,dz, \qquad (3)$$

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

Величина z_p определяется с помощью наилучшей байесовской оценки путем минимизации $P_{\text{пер}}$ по z_p. При неизвестных P_1 и P_2 выбираем $P_1 = P_2 = 0{,}5$.

Как видно из выражения (3), необходимо знать аналитическое выражение $W_1(z)$ и $W_2(z)$.

Для когерентного приема расчет величин $W_1(z)$ и $W_2(z)$ известен и приведен в [1]. Такой же подход можно использовать и при некогерентном приеме.

Итак, величина оценки инварианта в такой системе рассчитывается как

$$\text{INV}_l^* = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(k\cdot\text{INV}_l + \xi(i)\right)}{\frac{1}{L}\sum_{m=1}^{L}\sum_{j=1}^{N}\left(k\cdot S_{\text{об}} + \eta(m,j)\right)}\cdot S_{\text{об}},$$

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

Без ограничения общности примем $S_{\text{об}} = 1$, так как $S_{\text{об}} > 0$, и можно разделить значения инвариантов INV_l и среднеквадратического отклонения на $S_{\text{об}}$.

При $S_{\text{об}} = 1$ получаем следующее аналитическое выражение:

$$\text{INV}_l^* = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(k\cdot\text{INV}_l + \xi(i)\right)}{\frac{1}{L}\sum_{m=1}^{L}\sum_{j=1}^{N}\left(k + \eta(m,j)\right)}. \qquad (4)$$

Для расчета $P_{\text{пер}}$ необходимо знать математические ожидания и дисперсии числителя и знаменателя выражения (4).

Для их расчета воспользуемся следующим подходом.

Математическое ожидание числителя (4) будет равно

$$m_{\text{числ}} = m_p\cdot N. \qquad (5)$$

Дисперсия числителя (4) будет равна

$$D_{\text{числ}} = N\cdot\sigma_p^2, \qquad (6)$$

где m_p и σ_p^2 вычисляются в соответствии с выражениями (1) и (2). Математическое ожидание знаменателя (4) после преобразований будет равно

$$m_{\text{знам}} = m_{p2} \cdot N\,, \qquad (7)$$

где m_{p2} вычисляется в соответствии с (1) при $\alpha = k$, так как вместо INV_l используется $S_{\text{об}} = 1$.

Дисперсия знаменателя (4) будет равна

$$D_{\text{знам}} = N \cdot \sigma_{p2}^2 / L\,, \qquad (8)$$

где σ^2_{p2} вычисляется в соответствии с (2) при $\alpha = k$, где вместо m_p подставляется m_{p2}.

Тогда выражение плотности вероятности оценки инварианта будет равно [4]

$$W(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{-\frac{(zx-m_1)^2}{2\sigma_1^2}} e^{-\frac{(x-m_2)^2}{2\sigma_2^2}} |x|\,dx\,, \qquad (9)$$

где $\sigma_1 = \sqrt{D_{\text{числ}}}$; $\sigma_2 = \sqrt{D_{\text{знам}}}$; $m_1 = m_{\text{числ}}$; $m_2 = m_{\text{знам}}$.

Расчет $P_{\text{пер}}$ проводится численно аппроксимацией формулы (9).

В системах с АМ и некогерентным приемом аналогом вероятности попарного перехода является вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$, которая рассчитывается по известным формулам [3].

Вероятность попарного перехода и вероятность ошибки вычисляются для одинаковых значений h – отношения «сигнал/шум», которое вычисляется по формуле $h = k \cdot \text{INV}_l / \sigma_p$.

Пороговые значения z_p рассчитывалась путем минимизации $P_{\text{пер}}$ в формуле (3). Для $k = 1$ и $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_2 = 2$, 3, 4, 5, 6 вычисления дают результат z_p = 1,23; 1,49; 1,77; 2,07; 2,36.

Для $k = 0{,}7$ и $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_2 = 2$, 3, 4, 5, 6 вычисления дают результат z_p = 1,14; 1,30; 1,50; 1,68; 1,92.

Результаты моделирования приведены на рис. 2 и 3, из которых видно, что особенностью любой инвариантной системы, основанной на принципе инвариантной относительной амплитудной модуляции является то, что по каналу передаются амплитудно-модулированные сигналы, образованные INV_l и $S_{\text{об}}$.

Передача этих сигналов обеспечивает на основе классических алгоритмов обработки информации, как правило, невысокую помехоустойчивость [3].

И только после обработки этих сигналов в соответствии с алгоритмом частного по выражению (4), получаем оценку инварианта, по сути являющуюся числом, а не сигналом.

Как видно из рис. 2 и рис. 3 вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при больших отношениях «сигнал/шум» определяется величинами (10^{-30}…10^{-40}). При пересчете указанных выше величин вероятность ошибочного приема единичного символа в классических системах лежит в пределах (10^{-6}…10^{-10}).

Однако в реальных ситуациях точно определить значение коэффициента передачи канала связи нельзя. Следствием этого будет неточное определение порогов. Слагаемое знаменателя X_j формулы (4) оценки инварианта ИСПИ может быть представлено в виде

$$X_j = \frac{1}{L}\sum_{m=1}^{L}\left(k + \eta(m,j)\right), \qquad (10)$$

где L – количество усреднений; k – коэффициент передачи канала связи; $\eta(m,j)$ – j-й отсчет аддитивной помехи в m-й реализации сигнала обучения.

Тогда математическое ожидание X_j будет равно

$$EX_j = E\left(k + \eta(m,j)\right) = m(k)\,. \qquad (11)$$

Кроме того, имеем следующее:

$$\overline{X} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} X_j = m(\hat{k}), \qquad (12)$$

$$\hat{k} = g(\overline{X}), \qquad (13)$$

где $\hat{k}$ – оценка коэффициента передачи канала связи; g – функция, обратная функции m.

По теореме об асимптотической нормальности

$$D\hat{k} \approx \left(g'(m(k))\right)^2 \frac{\sigma^2}{NL}, \qquad (14)$$

$$m(k) = X\,, \qquad (15)$$

$$k = g(X)\,, \qquad (16)$$

$$g'(X) = \frac{1}{(m(k))'} = \frac{1}{m'(k)} = \frac{1}{m'(g(X))}\,, \qquad (17)$$

$$m(k) = \sigma\sqrt{\frac{\pi}{2}}\, e^{-\frac{k^2}{2\sigma^2}} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(2i+1)!!}{(i!)^2\, 4^i}\left(\frac{k}{\sigma}\right)^{2i}. \qquad (18)$$

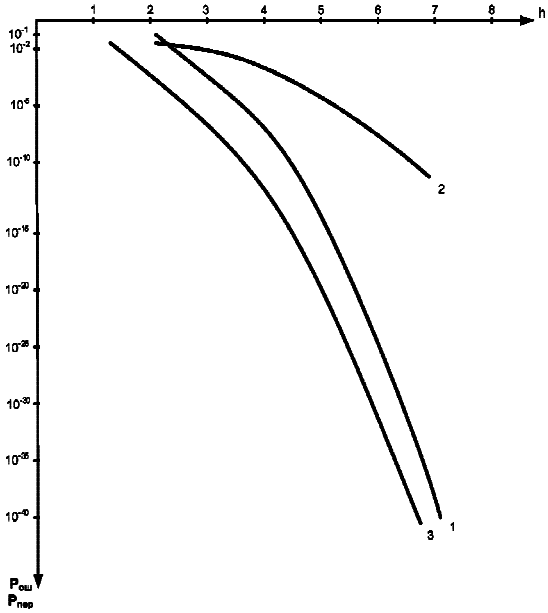


Рис. 2. Результаты моделирования: 1 – вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при следующих заданных условиях: $k = 1$; $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_2 = 2$, 3, … 6 и некогерентном приеме; 2 – вероятность ошибки при классической амплитудной модуляции и некогерентном приеме; 3 – вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при следующих заданных условиях: $k = 1$; $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_2 = 2$, 3, … 11 и когерентном приеме

Тогда

$$m'(k) = \sigma\sqrt{\frac{\pi}{2}} \times$$

$$\times\left(\begin{array}{l} -\dfrac{k}{\sigma^2} e^{-\frac{k^2}{2\sigma^2}} \displaystyle\sum_{i=0}^{\infty} \frac{(2i+1)!!}{(i!)^2\, 4^i}\left(\frac{k}{\sigma}\right)^{2i} + \\ +e^{-\frac{k^2}{2\sigma^2}} \displaystyle\sum_{i=0}^{\infty} \frac{(2i+1)!!}{(i!)^2\, 4^i} \frac{2i \cdot k^{2i-1}}{\sigma^{2i}} \end{array}\right), \qquad (19)$$

$$D\hat{k} = \frac{\sigma^2}{\left(m'(k)\right)^2 N \cdot L}, \quad (20)$$

$$k_- = k - 3\sqrt{D\hat{k}}, \quad (21)$$

$$k_+ = k + 3\sqrt{D\hat{k}}. \quad (22)$$

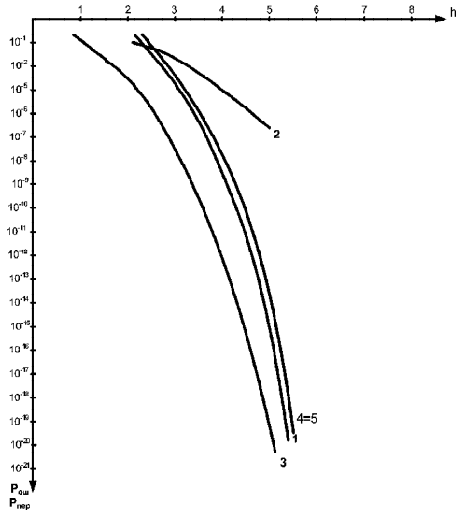


Рис. 3. Результаты моделирования: 1 – вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при следующих заданных условиях: $k = 0{,}7$; $INV_1 = 1$; $INV_2 = 2, 3, \ldots 6$ и некогерентном приеме; 2 – вероятность ошибки при классической амплитудной модуляции и некогерентном приеме; 3 – вероятность попарного перехода одного инварианта в другой при следующих заданных условиях: $k = 0{,}7$; $INV_1 = 1$; $INV_2 = 2, 3, \ldots 11$ и когерентном приеме; 4 – вероятность попарного перехода при $k = 0{,}7$ и порогах, вычисленных при $k_$; 5 – вероятность попарного перехода при $k = 0{,}7$ и порогах, вычисленных при k_+

Кривые 4 и 5 (рис. 3), соответствуют кривым помехоустойчивости при k_- и k_+ соответственно. При этом $D\hat{k} = 1{,}2 \cdot 10^{-19}$, $k_- = 6{,}999\,999\,88 \cdot 10^{-1}$ и $k_+ = 6{,}999\,999\,89 \cdot 10^{-1}$. Как видно из этих кривых, наблюдается уменьшение помехоустойчивости ИСПИ.

Таким образом, предложена инвариантная некогерентная система передачи информации и определены ее качественные характеристики при неточном определении порогов.

Разработанный метод может найти применение в системах обработки информации.

Библиографические ссылки

1. Инвариантный метод анализа телекоммуникационных систем передачи информации : моногр. / В. Б. Малинкин [и др.]. Красноярск, 2006.

2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. М. : Сов. радио, 1971.

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

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

E. I. Algasin

INVARIANT SYSTEM OF INFORMATION PROCESSING UNDER NONCOHERENT RECEPTION AND INACCURATE DETERMINATION OF THE THRESHOLDSPECIFICATIONS

Invariant system of information processing based on the linear detector and inaccurate determination of the threshold is considered and quantitative estimation of noise resistance of such kind of system with its posterior comparation with noise resistance of ordinary binary system under non-coherent reception is carried out in the article.

Keywords: invariant system, noise resistance.

© Алгазин Е. И., 2010

УДК 519.713

П. К. Лопатин

АЛГОРИТМ ЗАХВАТА МАНИПУЛЯТОРОМ ОБЪЕКТА В НЕИЗВЕСТНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Рассматривается алгоритм управления n-звенным манипуляционным роботом (МР) в среде с неизвестными статическими препятствиями. Доказывается теорема, утверждающая, что, двигаясь по данному алгоритму, МР за конечное число шагов либо захватит объект, либо выдаст обоснованный ответ о том, что объект не может быть захвачен ни в одной из конфигураций.

Ключевые слова: робот, неизвестная среда, препятствия, достижимость.

При управлении МР типичной является следующая задача: МР должен выдвинуться из стартовой конфигурации $\boldsymbol{q}^0$ и захватить своим схватом некоторый объект. При этом часто данный объект может быть захвачен не в одной, а в нескольких, а иногда и в бесконечном количестве целевых конфигураций $\boldsymbol{q}_i^T$. Целевые конфигурации $\boldsymbol{q}_i^T$ объединяются в целевое множество B_T. Множество B_T имеет произвольный вид.

Будем считать, что B_T не пополняется в течение всего времени движения МР. Считаем также, что координаты каждой точки из B_T известны и определены достоверно.

МР представляется в пространстве конфигураций (пространстве обобщенных координат) как точка. Функционирование МР должно происходить в пределах ограниченной области X конфигурационного пространства. Будем считать, что область X имеет такой вид, что для любого $\boldsymbol{q}$ О X выполняются неравенства

$$\boldsymbol{a}^1 \le \boldsymbol{q} \le \boldsymbol{a}^2, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{a}^1 = (a_1^1, a_2^1, \ldots, a_n^1)$ – вектор нижних ограничений на значения обобщенных координат; $\boldsymbol{a}^2 = (a_1^2, a_2^2, \ldots, a_n^2)$ – вектор верхних ограничений на значения обобщенных координат; $\boldsymbol{q} = (q_1, q_2, \ldots, q_n)$ – вектор обобщенных координат МР. Таким образом, область X представляет собой гиперпараллелепипед. Все точки, не удовлетворяющие (1), будем считать запрещенными.

Кроме того, следует учитывать, что и внутри X могут присутствовать запрещенные состояния. Во-первых, это те состояния (конфигурации), которые обусловлены конструктивными ограничениями МР, например те, в которых происходит недопустимое взаимопересечение звеньев. Такие запрещенные конфигурации удается вычислить заранее. Во-вторых, запрещенной является та конфигурация, в которой МР налегает на препятствия. В условиях неизвестной среды все такие конфигурации вычислить заранее невозможно. Итак, запрещенной конфигурацией является та конфигурация МР, в которой МР не может находиться в силу конструктивных ограничений либо в силу налегания на препятствие. Перед началом движения информации о запрещенных состояниях в X нет или она неполна. Точки из X, про которые нет достоверной информации о том, что они запрещенные, считаем разрешенными.

Рассмотрим теперь точки из B_T. Разрешенной точкой $\boldsymbol{q}^T \in B_T$ будем считать только ту точку, которая удовлетворяет следующим двум критериям: 1) она не является запрещенной в смыслах, описанных в предыдущих абзацах; 2) в нее можно попасть за конечное число шагов из $\boldsymbol{q}^0$, двигаясь в X по разрешенным состояниям. Точки из B_T, не удовлетворяющие хотя бы одному из двух таких критериев, считаем запрещенными. Поскольку требуется выяснить, достижимо ли множество B_T хотя бы в одной точке, то считаем, что до начала движения у МР ни про одну точку из B_T нет достоверной информации о том, является ли она разрешенной или запрещенной. Теперь сформулируем следующую **Задачу** управления МР в неизвестной статической среде: даны стартовая конфигурация МР $\boldsymbol{q}^0$ и целевое множество B_T. Требуется предложить алгоритм, который за конечное число шагов либо передвинет МР из $\boldsymbol{q}^0$ в хотя бы одно состояние из множества B_T, либо выдаст обоснованный ответ о том, что ни одно состояние из целевого множества B_T не является разрешенным.

К настоящему времени имеются работы по алгоритмам управления динамическими (ДС) и, в частности, робототехническими (РС) системами в известной и неизвестной среде. Имеются хорошие обзоры таких алгоритмов [1; 2]. Предложены алгоритмы, например, алгоритм полного перебора и алгоритм A*, которые за конечное число шагов либо находят путь из $\boldsymbol{q}^0$ в точку из B_T, либо сообщают, что в B_T нет точки, достижимой из $\boldsymbol{q}^0$.

Некоторые алгоритмы планирования в известной среде в принципе могут быть использованы для движения в неизвестной среде. Если мы дискретизируем пространство состояний, то тогда можно будет использовать графовые методы поиска траектории движения ДС [2; 3]. Однако эти алгоритмы имеют одно общее свойство, которое затрудняет их применение для управления ДС в неизвестной среде, заключающееся в том, что они в том или ином объеме требуют осуществлять поиск в ширину, иначе не гарантируется достижение целевой точки [4]. Но при поиске в ширину часто возникает следующая ситуация: предположим, что мы только что закончили рассмотрение вершин, соседних к вершине $\boldsymbol{q}$ и теперь нам надо рассматривать вершины, соседние вершине $\boldsymbol{q}'$ и вершины $\boldsymbol{q}$ и $\boldsymbol{q}'$ не являются соседними. Для того, чтобы рассмотреть вершины, соседние к $\boldsymbol{q}'$, ДС должна сначала передвинуться в $\boldsymbol{q}'$. Таким образом, вновь возникает задача планирования и осуществления маршрута из $\boldsymbol{q}$ в $\boldsymbol{q}'$. При планировании же в известной среде ЭВМ просто «переключает свое внимание» от $\boldsymbol{q}$ к $\boldsymbol{q}'$, которые хранятся в памяти ЭВМ. Необходимость поиска и исполнения путей для многих различных $\boldsymbol{q}$ и $\boldsymbol{q}'$ делает общую сумму передвижений ДС очень большой [4]. В случае, когда мы

планируем путь в известной среде, компьютер просто переключает свое внимание от точки $\boldsymbol{q}$ к точке $\boldsymbol{q}'$, которые хранятся в памяти компьютера.

В соответствии с классификацией [2] представителями алгоритмов поиска в ширину являются собственно алгоритм поиска в ширину, алгоритм A*, эвристический поиск «первый–лучший», ленивый вероятностный маршрут, динамическое программирование. В методах, основанных на случайном потенциальном поле, алгоритме «Нить Ариадны», быстро исследующих случайных деревьях [2] новые вершины генерируются случайным образом и потому применение таких методов ведет к тем же трудностям. Подходы, основанные на разделении ячеек, (двунаправленных) графах видимости, диаграммах Вороного [2] сводятся к попеременному построению графа и поиску пути на нем, таким образом, им также присущ вышеописанный недостаток, связанный со множественными механическими перемещениями.

В алгоритме, представленном в настоящей статье, вершины $\boldsymbol{q}$ и $\boldsymbol{q}'$ всегда являются соседними, что сокращает количество движений.

Известно также, что алгоритмы поиска в глубину не всегда доводят до цели [4].

Имеется общая трудность для методов планирования пути в среде с известными препятствиями: очень трудно собрать полную информацию о рабочем пространстве робота заранее и представить эту информацию в виде, пригодном для планирования пути. При рассмотрении нашего алгоритма можно будет видеть, что для системы управления нет необходимости собирать полную информацию о рабочем пространстве заранее, МР будет собирать необходимую информацию сам в ограниченных количествах и в терминах обобщенных координат, что удобно для планирования пути.

Предпринимаются попытки разработки создания алгоритмов управления для среды с неизвестными препятствиями. Большинство из них рассматривают двумерные случаи [5].

В [6–9] рассмотрены различные подходы к управлению роботами в двумерном неизвестном пространстве. В [6; 9] представлен подход, основанный на диаграмме Вороного, в [8] – поиск на основе табу-подхода. Поскольку эти подходы требуют попеременного построения графа и поиска пути на нем, они ведут к многочисленным перемещениям робота. В [7] препятствия должны иметь многоугольную форму. Применение методов, предложенных в [6–9] к управлению n-звенным манипуляционным роботом в неизвестной среде, не представлено.

В [5] представлен алгоритм управления МР среди неизвестных препятствий, расположенных в трехмерном декартовом пространстве. МР должен иметь не более трех звеньев и последняя кинематическая пара должна быть поступательной. При вышеуказанных предварительных условиях алгоритм за конечное число шагов либо переводит МР в целевую конфигурацию, либо сообщает о том, что она недостижима.

В [10] рассмотрен n-мерный случай. Алгоритм основан на решении системы нелинейных уравнений методом Ньютона и потому не может гарантировать достижения целевой позиции.

В [2] рассмотрены алгоритмы движения роботов в присутствии неопределенности (включая случаи неизвестной среды). Алгоритмы основаны на теории последовательных решений. В общем случае алгоритмы не гарантируют достижения цели. В случаях, когда алгоритмы используют поиск на графе, возникает вышеупомянутая трудность, связанная со множественными механическими перемещениями.

В [11] предлагается алгоритм управления ДС в n-мерном пространстве состояний в присутствии неизвестных запрещенных статических состояний, за конечное число шагов либо переводящий ДС из стартовой точки $\boldsymbol{q}^0$ в целевую $\boldsymbol{q}^T$, либо выдающий обоснованное сообщение о том, что $\boldsymbol{q}^T$ недостижима. Алгоритм обладает таким недостатком: он предполагает, что во множестве X каждое состояние достижимо из каждого. Данное требование в ряде случаев может входить в противоречие с целью самого алгоритма – за конечное число шагов выяснить достижимость или недостижимость целевого состояния из стартового.

В [4] предложен подход к управлению роботами (в том числе и манипуляционными) в n-мерном пространстве состояний. Суть подхода заключается в том, что робот планирует путь, соединяющий стартовую точку $\boldsymbol{q}^0$ и целевую $\boldsymbol{q}^T$, обходящий известные запрещенные состояния, и пытается исполнить данный путь либо до достижения $\boldsymbol{q}^T$, либо до столкновения в некоторой точке $\boldsymbol{q}^n$ с ранее неизвестным запрещенным состоянием. В последнем случае планируется новый путь $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$, соединяющий $\boldsymbol{q}^n$ и $\boldsymbol{q}^T$ и обходящий все известные запрещенные состояния. Показано [4], что задача перевода робота из $\boldsymbol{q}^0$ в $\boldsymbol{q}^T$ в неизвестной среде сводится к решению конечного числа задач планирования и исполнения пути $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$ (другими словами, к решению конечного числа задач ПИ (планирования в известной среде)). При этом предполагается, что имеется априорное знание о том, что $\boldsymbol{q}^T$ достижима.

В настоящей статье при решении **Задачи** мы опирались на подход [4]. Сформулированная **Задача** нами сводится к задаче исследования достижимости конечного числа N_{BT} точек $\boldsymbol{q}_i^T$, $i = 1, 2, \ldots, N_{BT}$. Требование априорного знания о достижимости $\boldsymbol{q}_i^T$, $i = 1, 2, \ldots, N_{BT}$ снято. Сформулированы новые требования к процедуре ПИ, необходимые для решения **Задачи**.

В [12–15] даются алгоритмы, за конечное число шагов переводящие ДС в среде с неизвестными запрещенными статическими состояниями из $\boldsymbol{q}^0$ в $\boldsymbol{q}^T$. Однако при этом предполагалось, что имеется априорная информация о том, что $\boldsymbol{q}^T$ достижима.

Рассмотрим предварительные условия:

1. На множестве B_T выделяем конечное число N_{BT} точек $\boldsymbol{q}_i^T$, $i = 1, \ldots, N_{BT}$. Это те целевые конфигурации, достижимость которых будет исследоваться. В дальнейшем B_T будем рассматривать как список конфигураций $\boldsymbol{q}_i^T$, $i = 1, \ldots, N_{BT}$. Считаем, что B_T не пополняется и потому N_{BT} не увеличивается. Считаем, что координаты каждой точки из B_T определяются достоверно.

2. Считаем, что у нас есть процедура ПИ, которая за конечное число шагов либо планирует траекторию из произвольной разрешенной точки $\boldsymbol{q}^n \in X$ в произвольную точку $\boldsymbol{q}^T \in X$ среди сообщенных ей известных запрещен-

ных состояний, либо выдает сообщение, что $\boldsymbol{q}^T$ недостижима. Такие процедуры уже существуют, например алгоритм полного перебора или алгоритм A* [3], которые для любой начальной точки $\boldsymbol{q}^n$ и любой целевой $\boldsymbol{q}^T$ при заданных известных запрещенных состояниях за конечное число шагов либо находят путь из $\boldsymbol{q}^n$ в $\boldsymbol{q}^T$, либо сообщают, что путь из $\boldsymbol{q}^n$ в $\boldsymbol{q}^T$ найден быть не может.

3. Расположение препятствий внутри рабочей зоны МР остается неизменным в течение всего времени движения МР.

4. Количество препятствий внутри рабочей зоны МР остается неизменным в течение всего времени движения МР.

5. Все движение, в том числе и результирующая траектория, должно происходить в гиперпараллелепипеде (1).

6. МР имеет сенсорную систему (СС), которая доставляет информацию об r-окрестности текущей точки МР $\boldsymbol{q} \in X$. Текущая точка МР – это та точка, в которой МР в настоящий момент находится. Под r-окрестностью $\boldsymbol{q}$ понимаем гипершар в X с центром в $\boldsymbol{q}$ и радиусом $r > 0$. Множество всех точек, входящих в r-окрестность точки $\boldsymbol{q}$, обозначаем $Y(\boldsymbol{q})$. Слова «доставляет информацию об r-окрестности точки $\boldsymbol{q}$» означают, что относительно каждой точки из $Y(\boldsymbol{q})$ СС определяет, является ли она разрешенной или запрещенной, при этом все запрещенные точки из $Y(\boldsymbol{q})$ заносятся в множество $Q(\boldsymbol{q})$, а все разрешенные точки из $Y(\boldsymbol{q})$ заносятся в множество $Z(\boldsymbol{q})$. Способ записи множеств $Y(\boldsymbol{q})$, $Z(\boldsymbol{q})$, $Q(\boldsymbol{q})$ может быть разным – в виде формул, списков, таблиц и т. д., но мы считаем, что он есть. Устройство сенсорной системы в данной работе не рассматривается.

7. Считаем, что у нас есть программная *Процедура1*(B_T, N_{BT}, Q ($\boldsymbol{q}^n$)). *Процедура1*(B_T, N_{BT}, $Q(\boldsymbol{q}^n)$) получает при вызове множество B_T , количество N_{BT} точек в множестве B_T, множество $Q(\boldsymbol{q}^n)$, полученное при последнем запуске СС. *Процедура1*(B_T, N_{BT}, $Q(\boldsymbol{q}^n)$) выбрасывает из B_T те точки, которые совпадают с точками из $Q(\boldsymbol{q}^n)$. После выброса оставшиеся точки в B_T перенумеровываются сплошной нумерацией начиная с 1 и в N_{BT} записывается число точек, оставшихся в B_T после исполнения *Процедуры1*(B_T, N_{BT}, $Q(\boldsymbol{q}^n)$).

8. Считаем, что у нас есть программная *Процедура2*(B_T, N_{BT}, $\boldsymbol{q}^T$). *Процедура2* (B_T, N_{BT}, $\boldsymbol{q}^T$) получает при вызове множество B_T, количество N_{BT} точек в множестве B_T и точку $\boldsymbol{q}^T$. *Процедура2*(B_T, N_{BT}, $\boldsymbol{q}^T$) выбрасывает из B_T точку $\boldsymbol{q}^T$. После этого точки перенумеровываются сплошной нумерацией начиная с 1 и в N_{BT} записывается число точек, оставшихся в B_T после исполнения *Процедуры2*(B_T, N_{BT}, $\boldsymbol{q}^T$).

Ниже приведен ***Алгоритм*** решения нашей **Задачи**. Перед началом движения текущей конфигурацией $\boldsymbol{q}^c$ МР является $\boldsymbol{q}^0$, по ходу движения ***Алгоритм1*** может вызываться из других текущих конфигураций МР.

Алгоритм. Если N_{BT}=0, то происходит окончание работы алгоритма с сообщением о том, что объект захвачен быть не может. Иначе в качестве $\boldsymbol{q}^T$ назначаем первую точку из B_T.

Шаг 1. МР находится в конфигурации $\boldsymbol{q}^c$. n:=0, $\boldsymbol{q}^n$:=$\boldsymbol{q}^c$. Исполнить

целевая_точка_запрещенная:=***Алгоритм1***($\boldsymbol{q}^c$, $\boldsymbol{q}^T$, B_T, N_{BT}).

Если целевая_точка_запрещенная=НЕТ, происходит успешное окончание работы ***Алгоритма*** с сообщением о том, что объект захвачен в точке $\boldsymbol{q}^T$.

Если целевая_точка_запрещенная=ДА, происходит переход на шаг 2.

Шаг 2. Если N_{BT}=0, происходит окончание работы алгоритма с сообщением о том, что объект не может быть захвачен МР ни в одной из целевых конфигураций. Если N_{BT}№ 0, в качестве $\boldsymbol{q}^T$ взять первую точку из B_T и перейти на шаг 1. ***Конец Алгоритма.***

Алгоритм1 получает значения в следующем формате: ***Алгоритм1***($\boldsymbol{q}^n$, $\boldsymbol{q}^T$, B_T, N_{BT}) и посвящен выяснению вопроса о том, является ли точка $\boldsymbol{q}^T$ достижимой из $\boldsymbol{q}^n$ в неизвестной среде.

Алгоритм1. Шаг 1. МР находится в $\boldsymbol{q}^n$ (назовем ее «точка смены маршрута). СС доставляет информацию о $Y(\boldsymbol{q}^n)$, $Z(\boldsymbol{q}^n)$, $Q(\boldsymbol{q}^n)$.

Шаг 2. Выполняется

N_{BT} :=*Процедура1*(B_T, N_{BT}, Q ($\boldsymbol{q}^n$)).

Если N_{BT}=0, происходит присвоение целевая_точка_запрещенная:=ДА и возврат в алгоритм. Если N_{BT}≠0, проверяем, оказалась ли выброшенной из B_T точка $\boldsymbol{q}^T$. Если да, то происходит присвоение целевая_точка_запрещенная:=ДА и возврат в алгоритм, если нет (т. е. $\boldsymbol{q}^T$ осталась в B_T) – то происходит переход на шаг 3.

Шаг 3. Вызывается процедура ПИ с задачей сгенерировать линию $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$, удовлетворяющую следующим условиям:

– $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$ соединяет $\boldsymbol{q}^n$ и $\boldsymbol{q}^T$;

– $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$ не налегает на множество $\bigcup_{i=0}^{n} Q(\boldsymbol{q}^n)$, т. е. ни на одну из запрещенных точек;

– $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$ удовлетворяет конструктивным ограничениям (1).

Результатов работы процедуры ПИ может быть два:

– ПИ возвращает сгенерированную траекторию и ***Алгоритм1*** переходит на шаг 4;

– ПИ сообщает о том, что $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$ сгенерирована быть не может, т. е. $\boldsymbol{q}^T$ является недостижимой. В этом случае выполняется

N_{BT}: = *Процедура 2*(B_T, N_{BT}, $\boldsymbol{q}^T$),

производится присвоение: целевая_точка_запрещенная:=ДА и происходит возврат в ***Алгоритм***.

Шаг 4. МР начинает движение по $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$. Исходов движения может быть два:

– МР попадает в некоторую точку $\boldsymbol{q}_i^T \in B_T$. В этом случае происходят присвоения $\boldsymbol{q}^T$:=$\boldsymbol{q}_i^T$ и целевая_точка_запрещенная:=НЕТ и выполняется возврат в ***Алгоритм***;

– МР придет в некоторую точку $\boldsymbol{q}^*$, следующая за которой является запрещенной. В этом случае выполняем n:=n+1, $\boldsymbol{q}^n$:=$\boldsymbol{q}^*$ и ***Алгоритм1*** переходит на шаг 1. ***Конец Алгоритма1***.

Теорема. Исполняя ***Алгоритм***, МР решит ***Задачу*** за конечное число шагов.

Доказательство. Алгоритм выясняет достижимость конечного числа точек из B_T. Выяснение достижимости в отношении каждой из точек $\boldsymbol{q}^T \in B_T$ осуществляется путем исполнения ***Алгоритма1***. Отсюда видно, что исполнение ***Алгоритма*** сводится к конечному числу вызовов ***Алгоритма1***. Поэтому, чтобы доказать, что ***Алгоритм*** будет исполнен за конечное число шагов, тре-

буется показать, что исполнение ***Алгоритма1*** для произвольных $\boldsymbol{q}^n$ и $\boldsymbol{q}^T$ будет осуществлено за конечное число шагов.

Алгоритм1 посвящен выяснению вопроса о том, является ли точка $\boldsymbol{q}^T$ достижимой в неизвестной среде из точки смены маршрута $\boldsymbol{q}^n$ или нет. В ***Алгоритме1***, когда МР находится в точке $\boldsymbol{q}^n$, $n = 0, 1, 2, \ldots$, происходит запуск СС и запуск процедуры ПИ. Если в результате исполнения этих действий точка $\boldsymbol{q}^T$ будет определена как запрещенная (в силу налегания на препятствие, либо в силу недостижимости), произойдет возврат в алгоритм и для исследования достижимости будет назначена другая точка $\boldsymbol{q}^T \in B_T$. Если в результате исполнения этих действий точка $\boldsymbol{q}^T$ не будет определена как запрещенная, происходит генерация линии $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$ и МР начнет исполнять эту траекторию. Исполнение этой траектории может иметь два исхода: либо МР, не встретив на своем пути запрещенных точек, достигнет $\boldsymbol{q}^T$ (и тогда произойдет успешное окончание работы ***Алгоритма***) либо МР придет в точку $\boldsymbol{q}^n$, $n = 1, 2, \ldots$, следующая за которой будет запрещенной. Покажем, что все точки смены маршрута $\boldsymbol{q}^n$, $n = 0, 1, 2, \ldots$ будут различными и их число будет конечным.

Покажем, что все точки смены маршрута различны. Предположим, что МР сменил маршрут, находясь в точке $\boldsymbol{q}^s$, а потом, находясь в точке $\boldsymbol{q}^p$, вновь сменил маршрут, т. е. $s < p$. Покажем, что $\boldsymbol{q}^s \neq \boldsymbol{q}^p$. Предположим сначала, что $\boldsymbol{q}^s = \boldsymbol{q}^p$ и тогда $Q(\boldsymbol{q}^s) = Q(\boldsymbol{q}^p)$. Поскольку МР сменил маршрут, находясь в точке $\boldsymbol{q}^s$, то он сгенерировал маршрут, не налегающий в том числе и на $Q(\boldsymbol{q}^s)$. Но поскольку МР сменил маршрут в точке $\boldsymbol{q}^p$, то это означает, что его маршрут налег на $Q(\boldsymbol{q}^p) = Q(\boldsymbol{q}^s)$ (при этом $\boldsymbol{q}^s = \boldsymbol{q}^p$ является центром r-окрестности точки $\boldsymbol{q}^s = \boldsymbol{q}^p$ и следующая за ней точка является запрещенной), т. е. $Q(\boldsymbol{q}^p) = Q(\boldsymbol{q}^s)$ не было известным. Получили противоречие. Отсюда видно, что все точки смены маршрута различны.

Покажем теперь, что число точек смены маршрута конечно. Предположим, что, наоборот, оно бесконечно. Все точки смены маршрута должны удовлетворять ограничениям (1). Это означает, что последовательность этих точек ограничена. Согласно теореме Больцано–Вейерштрасса из этой последовательности можно извлечь сходящуюся подпоследовательность $\boldsymbol{q}^i$, $i = 1, 2, \ldots$ В соответствии со свойством Коши сходящихся последовательностей для любого e можно найти такой номер s, что все точки $\boldsymbol{q}^i$, $i > s$, будут лежать в е-окрестности точки $\boldsymbol{q}^s$. Возьмем е < r. Рассмотрим произвольную точку смены маршрута $\boldsymbol{q}^i$, расположенную в e-окрестности точки $\boldsymbol{q}^s$. Так как МР, находясь в $\boldsymbol{q}^i$, сменил свой маршрут, то это означает, что маршрут налег на множество $Q(\boldsymbol{q}^s)$ ($\boldsymbol{q}^i$ и ее соседние точки принадлежат $Q(\boldsymbol{q}^s)$). Отсюда надо сделать вывод, что множество $Q(\boldsymbol{q}^s)$ не было учтено при генерации маршрута, приведшего в $\boldsymbol{q}^i$, что невозможно при исполнении предписаний ***Алгоритма1***. Таким образом, если принять, что число точек смены маршрута бесконечно, то неизбежно возникнет ситуация, которая не может наступить при исполнении предписаний ***Алгоритма1***. Следовательно, число точек смены маршрута конечно.

Итак, число точек смены маршрута $\boldsymbol{q}^n$, $n = 0, 1, 2, \ldots$ конечно и они все различны. В каждой точке $\boldsymbol{q}^n$ осуществляется запуск СС и вызов процедуры ПИ, генерирующей $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$. В результате выполнения этих действий либо получаем информацию о том, что $\boldsymbol{q}^T$ является запрещенной, либо нет. Если получаем, выяснение вопроса о достижимости $\boldsymbol{q}^T$ заканчивается выводом о недостижимости $\boldsymbol{q}^T$. Если нет, происходит попытка исполнения траектории $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$. Если и в последней точке смены маршрута $\boldsymbol{q}^n$ точка $\boldsymbol{q}^T$ не была квалифицирована как запрещенная, то будет сгенерирована $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$, эта траектория будет исполнена и $\boldsymbol{q}^T$ будет достигнута.

Таким образом, показано, что МР, исполняя ***Алгоритм1*** за конечное число шагов либо достигнет точки $\boldsymbol{q}^T$, либо сделает вывод о том, что $\boldsymbol{q}^T$ недостижима. ***Алгоритм*** сводится к исполнению ***Алгоритма1*** конечное число раз. Отсюда видно, что, исполняя ***Алгоритм***, МР решит задачу за конечное число шагов. ***Теорема доказана***.

Замечание 1. Мы уже говорили, что ***Алгоритм1*** сводится к генерации и исполнению конечного числа пути $L(\boldsymbol{q}^n, \boldsymbol{q}^T)$. Алгоритм сводится к исполнению конечного числа раз ***Алгоритма1***. Отсюда следует вывод о том, что **Задача** сводится к решению конечного числа задач ПИ планирования и исполнения пути в среде с известными запрещенными состояниями.

Замечание 2. При первом вызове ***Алгоритма1*** $\boldsymbol{q}^c = \boldsymbol{q}^0$ исследуется достижимость первой точки из B_T, назовем ее $\boldsymbol{q}_1^T$. При последующих вызовах ***Алгоритма1*** исследуется достижимость точек $\boldsymbol{q}_i^T \in B_T$, $i = 2, 3, \ldots, N_{BT}$ и, вообще говоря, $\boldsymbol{q}^c \neq \boldsymbol{q}^0$. Но, поскольку МР прибыл в $\boldsymbol{q}^c$ из $\boldsymbol{q}^0$ по непрерывно следующим одна за другой разрешенным точкам, то вывод о достижимости/недостижимости $\boldsymbol{q}_i^T \in B_T$, $i = 2, 3, \ldots, N_{BT}$ из $\boldsymbol{q}^c \neq \boldsymbol{q}^0$ будет квалифицироваться как вывод о достижимости/недостижимости точки $\boldsymbol{q}_i^T \in B_T$, $i = 2, 3, \ldots, N_{BT}$ из $\boldsymbol{q}^0$.

Библиографические ссылки

1. Ahrikhencheikh C., Seireg A. Optimized-Motion Planning: Theory And Implementation. John Wiley & Sons, Inc, 1994.

2. LaValle S. M. Planning Algorithms. 1999–2006. [Electronic resource]. URL: http://msl.cs.uiuc.edu/planning.

4. Ильин В. А. Интеллектуальные роботы: Теория и алгоритмы / Сиб. аэрокосмич. акад. Красноярск, 1995.

3. Nilson N. Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence // New York : McGraw-Hill Book Company, 1971.

5. Lumelsky V. J. Sensing, intelligence, motion. How robots and humans move in an unstructured world / John Wiley & Sons, 2006.

6. Chen C., Li H.-X., Dong D. Hybrid Control for Robot Navigation. A hierarchical Q-learning algorithm // IEEE Robotics & Automation Magazine. 2008. June. Vol. 15, № 2. P. 37–47.

7. Online Algorithms with Discrete Visibility. Exploring Unknown Polygonal Environments / S. K. Ghosh [et al.] // IEEE Robotics & Automatiom Magazine. 2008. June. Vol. 15, № 2. P. 67–76.

8. Masehian E., Amin-Nasari M. R. Sensor-Based Robot Motion Planning. A Tabu Search Approach // IEEE Robotics & Automation Magazine. 2008. June. Vol. 15, № 2. P. 48–57.

9. Rawlinson D., Jarvis R. Ways to Tell Robots Where to Go. Directing autonomous robots using topological

instructions // IEEE Robotics & Automation Magazine. 2008. June. Vol. 15, № 2. P. 27–36.

10. Yegenoglu F., Erkmen A. M., Stephanou H. E. On-line Path Planning Under Uncertainty. Proc. 27th IEEE Conf. Decis. and Contr. (Austin, Tex., Dec. 7–9, 1988). Vol. 2. New York, 1988. P. 1075–1079.

11. Отчет о госбюджетной научно-исследовательской работе Б6-12 за 1996 г. Алгоритмическое и программное обеспечение интеллектуальных манипуляционных роботов в условиях неопределенности. Теория и моделирование задач управления, планирования траекторий и действий манипуляционными интеллектуальными роботами в условиях неопределенности : отчет о НИР / Сиб. аэрокосмич. акад. ; Ильин В. А. Красноярск, 1997. № ГР 01.9.80.001231. Инв. № 02.9.8.0 0 00526.

12. Лопатин П. К. Компьютерная имитация управления манипуляционными роботами в неизвестной среде на основе точного и упрощенного алгоритмов // Мехатроника, автоматизация, управление. Приложение. 2006. № 8. С. 7–14.

13. Лопатин П. К. Алгоритм2 управления динамическими системами в неизвестной статической среде // Вестник СибГАУ. Вып. 4 (11). 2006. С. 28–32.

14. Лопатин П. К. Алгоритм управления динамическими системами в неизвестной статической среде // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 2. С. 9–13.

15. Lopatin P. K. Algorithm of a manipulator movement amidst unknown obstacles // Proc. of the 10 th Intern. Conf. on Advanced Robotics (ICAR 2001) (Budapest, Aug. 22–25, 2001). Hungary, 2001. P. 327–331.

P. K. Lopatin

ALGORITHM FOR AN OBJECT GRASPING BY A MANIPULATOR IN AN UNKNOWN STATIC ENVIRONMENT

An algorithm for n-link manipulating robot (MR) control in environment with unknown static obstacles is considered and theorem, which states that following the algorithm, MR for finite number of steps either grasps the object or gives proved conclusion that the object cannot be grasped in no configuration, is proved in the article.

Keywords: robot, unknown environment, obstacles, reachability.

© Лопатин П. К., 2010

УДК 004.4’2

А. Ю. Сыщиков

КОНЦЕПЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ

Неоднородные вычислительные системы на кристалле – это быстрорастущий сегмент распределенных параллельных вычислительных систем. Такие системы не могут эффективно программироваться вручную, тем не менее существуют только базовые инструменты для их программирования. Предлагается концепция и технология параллельного программирования неоднородных систем на кристалле. Концепция представляет визуальный подход к программированию, среднегранулярную организацию параллельных вычислений с последовательными блоками и динамику параллельных вычислений. Представлен разработанный пакет инструментов VIPE (VPL Integrated Programming Environment). VIPE включает в себя формальную математическую модель параллельных вычислений, визуальный язык параллельного программирования для среднегранулярного дизайна программ, транслятор и прекомпилятор схем программ и программный симулятор выполнения параллельных программ на неоднородной системы на кристалле.

Ключевые слова: система на кристалле, параллельное программирование, динамические вычисления, интегрированная среда разработки.

Многопроцессорные системы на кристалле (Multiprocessor Systems-on-Chips, СнК) – одно из ключевых современных приложений технологий сверхбольших интегральных схем. Требования приложений и ограничения реализации вынуждают создавать заказные, нестандартные, неоднородные архитектуры для оптимизации скорости вычислений, энергопотребления, стоимости, размеров и других критериев.

Одним из важнейших вопросов в области разработки СнК является технологии и средства программирования таких систем. В коллективах, создающих СнК, существуют программные средства, позволяющие разработать необходимый код для функционирования системы: компиляторы для ядер, загрузчики, возможно, отладчики. Но такой подход является фрагментарным: части системы программируются независимо, взаимосвязи между ними

скрыты, полная схема программного обеспечения (ПО) СнК является ненаблюдаемой. Отсутствие единой схемы приложения не позволяет обеспечить эффективный процесс сборки и тестирования приложения, простоту адаптации ПО для изменяющихся задач и конфигураций системы, сделать разработку ПО доступной не только их проектировщикам, но и заказчикам.

При таком подходе не удается объединить описание схемы программы (обычно графическое) и кодирование функций (обычно текстовое) в единую среду разработки. Это особенно актуально для разработки параллельных приложений, поскольку не позволяет контролировать ключевые вопросы: эффективность разработанного приложения; возможность модификации при изменении алгоритма или конфигурации платформы; взаимодействие одновременно выполняемых в системе задач, верификацию схемы приложения.

Концепция программирования неоднородных СнК. В данной статье предлагается унифицированная методология разработки параллельных программ для СнК, которая позволяет описывать схему программы независимо от архитектуры СнК, унифицирует механизм разработки ПО и обеспечивает переносимость ПО не только между однотипными системами, но и между различными классами систем.

Ключевыми особенностями предлагаемого подхода являются следующие:

– формальная модель параллельных вычислений как основа детерминированности и алгоритмической полноты вычислений;

– графическое представление и универсальный графический язык программирования для естественного описания схемы взаимодействия между компонентами программы с реализацией функциональных кодов модулей на традиционных языках программирования;

– интегрированная среда разработки приложений для комплексной унифицированной разработки ПО для неоднородных СнК.

Рассмотрим последовательно все уровни предлагаемой концепции.

Формальная АРП-модель параллельных вычислений. В основе предлагаемой концепции лежит формальная математическая модель динамических параллельных вычислений в распределенных архитектурах, АРП-модель [1; 2], которая является параллельной асинхронной моделью с полностью децентрализованным управлением. Общая АРП-модель определяется в терминах схемы параллельной программы. Схема представляется в виде направленного графа. Вершины графа представляют операторы и объекты-данные. Дуги графа соответствуют указателям, которые связывают операторы с соответствующими объектами-данными.

АРП-модель формально определяет наиболее общий тип параллельных вычислений – динамические параллельные вычисления. Схема параллельной программы изменяется, в общем случае, на каждом шаге вычислений – изменяется сам граф, а не только пометки вершин, как это делается, например, в модели потоков данных или сетях Петри.

АРП-модель предоставляет набор механизмов верификации схемы программы и построения согласованных вычислений. Верификация позволяет проверять поведение схемы программы «по построению» по ряду ключевых вопросов: зацикливание программы, наличие тупиков и др. Согласованные вычисления позволяют рассматривать выполнения параллельной программы, например, как последовательное для ее отладки и т. д.

Графический язык параллельного программирования VPL. Язык VPL [3] основан на формальной АРП-модели и предназначен для программирования динамических параллельных вычислений.

В общей АРП-модели каждая операторная вершина может порождать любой фрагмент схемы программы. В языке VPL возможность порождать запрограммированный пользователем фрагмент схемы программы предоставляется только специальному классу управляющих операторов. Управляющие операторы могут включать в себя другие операторы и объекты-данные, которые будут порождены при срабатывании оператора. Эти операторы являются основным инструментом управления параллельным вычислением в программах на языке VPL: они управляют структурой схемы параллельной программы в процессе ее работы. Данный инструментарий также реализует иерархическое структурирование параллельной программы и организацию вычислений, зависящих от значений данных, что является необходимым для алгоритмической полноты языка программирования.

Для остальных типов операторов язык программирования VPL определяет только общую, рамочную интерпретацию: такие операторы при срабатывании не могут порождать новые фрагменты схемы программы. Сама интерпретация будет задаваться программистом на последовательном языке программирования, например на языке C. Такой тип операторов называется «терминальными операторами». Терминальные операторы являются средством описания преобразований данных. Они читают данные, поступившие на вход, производят некоторую обработку данных (реализуют некоторую задачу обработки данных), формируют данные и записывают их на выход. Программа интерпретации оператора определяет функцию, которая будет запущена при вызове экземпляра оператора параллельной программы.

Концепция программирования в АРП-модели на языке VPL. Существенная особенность архитектуры СнК – разнородность, специализация и малая производительность вычислительных модулей. Вследствие этого программы для СнК являются среднегранулярными, т. е. выполняемые блоки кода соответствуют уровню функций и процедур обычных программ.

Для среднегранулярных программ естественным является разделение процесса разработки на программирование схемы параллельной программы и программирование ее компонент. Таким образом, должны использоваться два взаимодействующих уровня программирования:

– программирование схемы параллельной программы в виде сети операторов и объектов-данных в графической нотации языка VPL;

– программирования последовательных программ процессов на традиционных языках программирования (C, Embedded C, Assembler и т. д.).

Все взаимодействия операторов друг с другом или с объектами-данными явно представляются на уровне схемы параллельной программы (рис. 1). Таким образом, они могут контролироваться и верифицироваться.

Операторы взаимодействуют через объекты-данные (дуги в классическом графе потоков данных могут рассматриваться как частный случай объектов-данных). Объекты-данные являются абстракцией хранилищ и коммуникационных каналов, которые существуют вне операторов.

Важным свойством предлагаемой концепции является запрет на управление параллельными вычислениями из программ отдельных операторов. Это предохраняет взаимодействия в параллельной программе от ненаблюдаемости, а схему от хаотичности и невозможности верификации.

Интегрированная среда и практическое применение. Для создания ПО для неоднородных СнК в рамках предлагаемого подхода разработан пакет VIPE: VPL Integrated Programming Environment (рис. 2), который обеспечивает выполнение всего комплекса процедур от исходного алгоритма до получения готовой программы.

Комплекс разработки ПО VIPE состоит из следующих компонент:

– визуальная интерактивная среда разработки схем параллельных программ на языке VPL;

– построитель размещений элементов схем программ на вычислительных модулях неоднородной СнК и расписаний их выполнения [4];

– транслятор схемы программы и функциональных модулей в загрузочные модули программного симулятора платформы;

– компилятор объектных кодов функций и схемы программы, генерация выполняемого на неоднородной СнК кода, линковка загружаемых в СнК модулей;

– программный симулятор неоднородной СнК с интерпретатором VPL.

Комплекс VIPE обладает следующими ключевыми свойствами:

– поддерживает раздельное программирование схемы параллельной программы и последовательного кода ее элементов; поддерживает линовку модулей на традиционных языках программирования;

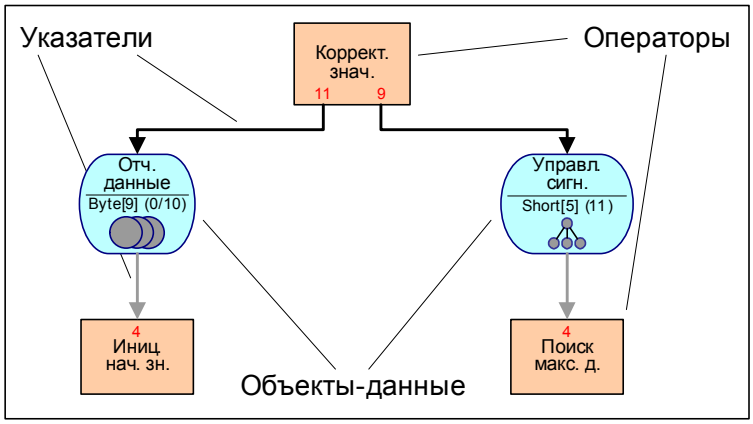


Рис. 1. Параллельная программа – сеть операторов и объектов-данных

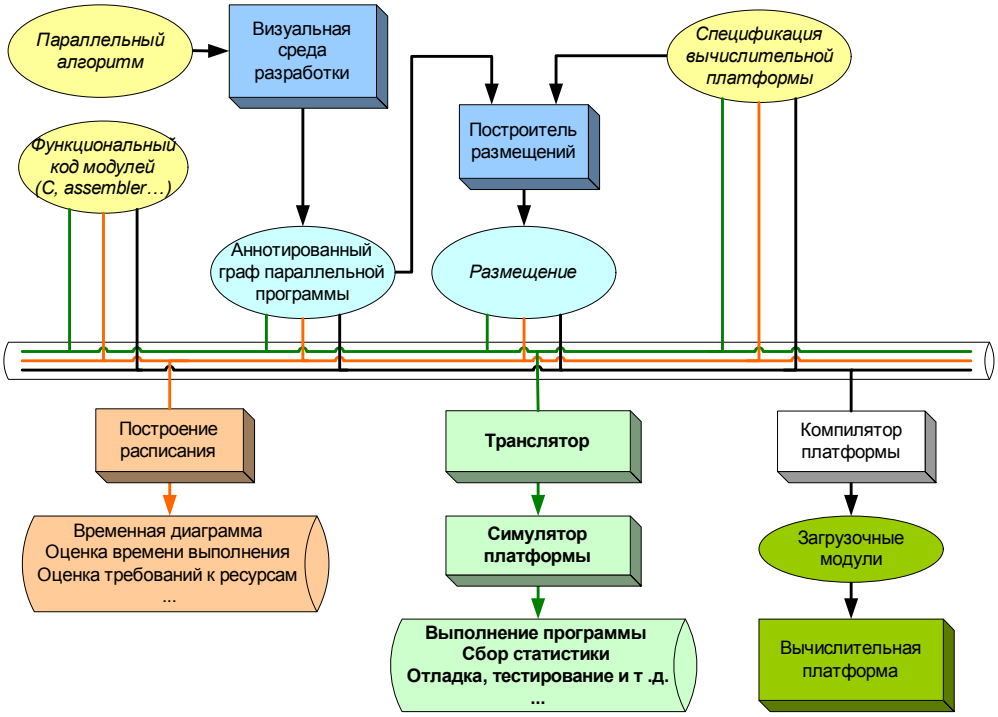


Рис. 2. Схема VPL Integrated Programming Environment

– поддерживает программирование как статических, так и динамических параллельных вычислений;

– поддерживает адаптацию размещения схемы программы под изменения спецификации платформы;

– производит набор трансформаций схемы программы;

– имеет расширяемую модульную структуру, позволяющую разрабатывать новые модули для поддержки различных последовательных языков и спецификаций платформ.

Пример программирования в комплексе VIPE. Рассмотрим применение предложенной концепции программирования неоднородных СнК на примере задачи расчета прохождения набора луча через оптическую систему, которая рассматривается как совокупность оптических поверхностей и источников лучей с заданными характеристиками. Лучи имеют следующие параметры: координаты по осям, углы отклонений по осям, интенсивность, номер поверхности, на которой находится луч.

В качестве объекта распараллеливания выберем лучи, так как при расчете их больше, чем поверхностей, а кроме того, их количество изменяется в ходе вычислений из-за эффектов отражения и поглощения.

Кратко алгоритм будет выглядеть следующим образом:

1. Загружаются из файлов параметры оптических поверхностей и характеристики начального набора лучей.

2. Запускается параллельный цикл, каждая итерация которого рассчитывает прохождение одного луча через одну поверхность:

2.1. Определяется номер поверхности для расчета.

2.2. Характеристики поверхности запрашиваются из хранилища.

2.3. Рассчитываются два новых луча: прямой и отраженный.

2.4. Каждый из них либо удаляется из расчета (ниже пороговой интенсивности), отправляется на выход системы (расчет луча окончен) или возвращается в буфер для дальнейшего расчета.

Поскольку предлагаемый подход к программированию является визуальным, рисовать отдельную схему алгоритма не требуется: результат программирования является одновременно как наглядной схемой алгоритма, так и исполняемой программой. Применяя стиль программирования «сверху вниз» на верхнем уровне получим обобщенную схему программы (рис. 3).

На этой схеме представлены два источника данных: загрузка оптических поверхностей и начального набора лучей. Данные об оптических поверхностях размещаются в локальной памяти процессорного элемента (ПЭ), на котором будет размещен процесс, обрабатывающий запросы на информацию о поверхностях («менеджер поверхностей»). Данные о начальном наборе лучей помещаются в общий буфер лучей для расчета, из которого лучи на обработку будут забираться по мере развертывания итераций цикла («параллельная обработка лучей»).

Цикл разворачивается в количестве одновременно работающих итераций от (1) до (количество лучей) в зависимости от реализации конкретной аппаратной платформы, наличия ресурсов и других факторов. Далее можно детализировать тело цикла независимо, не затрагивая схему верхнего уровня (рис. 4).

Каждая итерация получает на обработку один луч для расчета прохождения через очередную поверхность. Запрашиваются параметры поверхности («Выч-е номера поверхности»), вычисляются два новых луча, прямой и отраженный («Расчет лучей»). Далее проверяются их интенсивности и завершение прохождения («Проверка интенсивности»), результат проверки поступает на вход условного оператора («Выбор места назначения луча»), после чего они удаляются (ветвь «Drop»), попадают в выходной буфер (ветвь «Finish») или вновь в исходный буфер на новую обработку (ветвь «Continue»). Конечно, ветвь «Drop» не обязательно представлять на схеме. Она нарисована исключительно для наглядности отображения обработки.

И, наконец, общая схема (рис. 5). Следует отметить, что не обязательно обобщенная схема должна представляться на одном «листе» программы. Иерархия может быть отображена как на одном экране (на рисунке), так и на различных «листах» и в различных файлах.

Данный пример содержит иллюстрацию возможностей по описанию динамики вычислений и параллелизма в рамках предложенной концепции. Схема программы содержит статические компоненты (терминальные операторы), а также динамическое управление (условные операторы и циклы).

Размещение программ на неоднородных СнК. Отдельно остановимся на возможностях комплекса VIPE по эф-

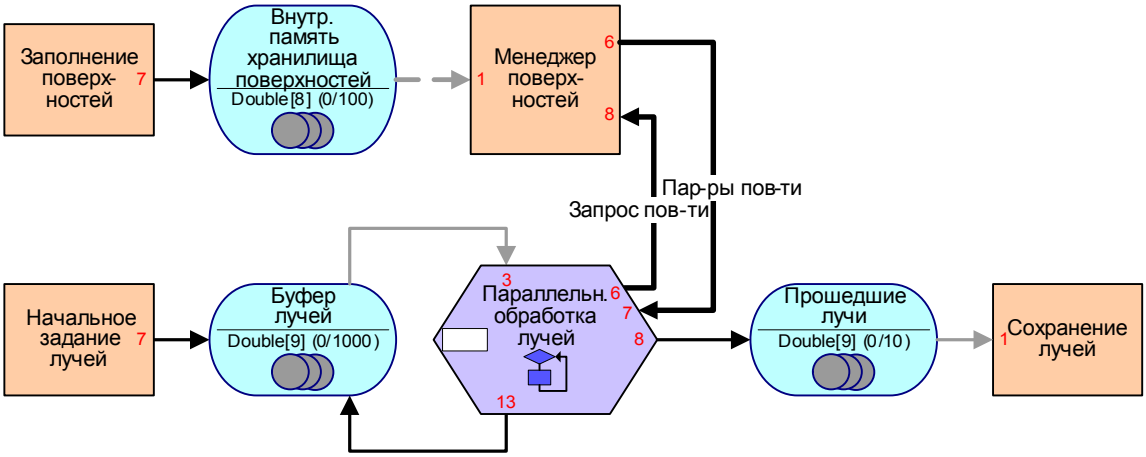


Рис. 3. Схема параллельной программы на верхнем уровне

фективной организации размещения параллельных программ на неоднородных СнК (рис. 6).

Как известно, общая задача размещения программ на однородных ВС в общем случае является NP-полной задачей. Для неоднородных СнК необходимо учитывать еще два фактора: ограничения на размещения и различные параметры выполнения, обусловленные неоднородностью вычислительных модулей и коммуникационной системы.

Комплекс VIPE обеспечивает размещение элементов схемы программы на модулях неоднородной СнК в следующих режимах: автоматическом, ручном и в автоматическом с установленными ограничениями. Представление схемы параллельной программы позволяет легко и наглядно задавать, анализировать и управлять ее размещением.

Таким образом, представлена целостная концепция параллельного программирования неоднородных СнК, описывающая все этапы разработки от неформального описания алгоритма до получения готовой программы, размещения и характеристик выполнения – и реализованная в виде интегрированной среды параллельного программирования VIPE.

Методология и инструментарий основаны на математической модели параллельных вычислений, которая гарантирует получение одинаковых результатов независимо от того, выполняется ли алгоритм виртуально или на модели платформы, а также от конкретной конфигурации платформы.

Интегрированная среда программирования VIPE позволяет:

1. Разработать параллельный алгоритм решения задачи, провести иерархическую декомпозицию до нужной гранулярности, спроектировать параллельный алгоритм, эффективный для выполнения на параллельной СнК как ВС с распределенной архитектурой.

2. На ранних этапах сделать оценку времени выполнения и вычислительной сложности алгоритма. Это позволяет до этапа детального проектирования платформы рамочно оценить требования к вычислительным ресурсам, памяти, коммуникационной среде.

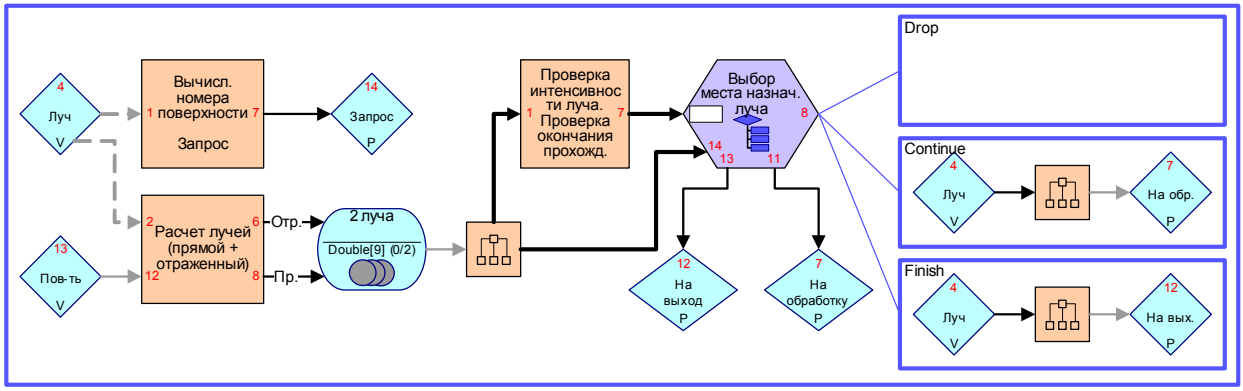


Рис. 4. Цикл расчета прохождения луча через оптическую поверхность

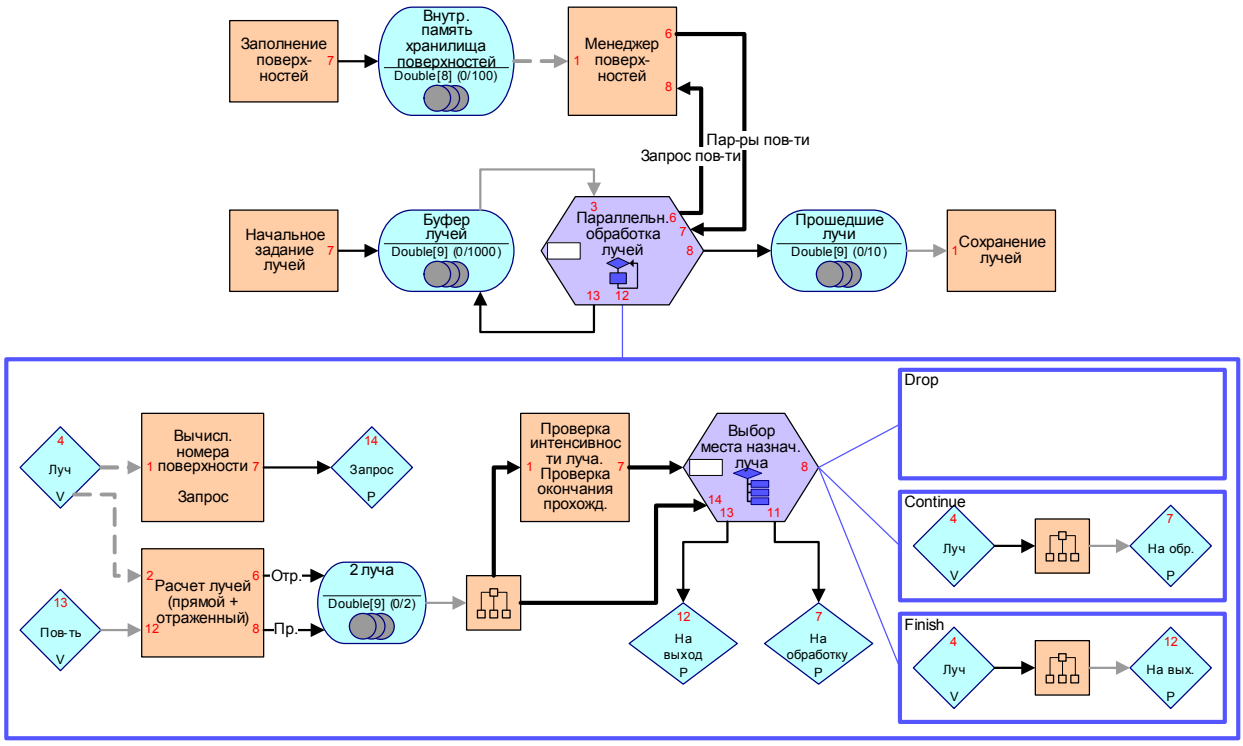


Рис. 5. Полная схема программы расчета прохождения

3. Полностью запрограммировать алгоритм, провести функциональную отладку и тестирование разработанного ПО. Выполнять ПО на различных моделях и конфигурациях вычислительной платформы, более детально получить характеристики выполняемых программ и требований к аппаратуре.

4. Используя компилятор, под конкретную платформу произвести сборку загрузочных модулей для запуска непосредственно на вычислительной платформе.

5. Возможность использовать преимущества конвейерного параллелизма, естественного параллелизма прикладных алгоритмов, естественную динамику выполняемой задачи для улучшения характеристик параллельной программы, повышения производительности (performance, throughput), сокращения времени выполнения (latency).

В рамках апробации концепции разработаны программы для ряда прикладных задач матричной алгебры, обработки сигналов, коммуникационных алгоритмов, алгоритмов вычислительной фотографии и обработки видеопотока, hash-алгоритмов.

Библиографические ссылки

1. Шейнин Ю. Е. Асинхронные развивающиеся процессы – формальная модель параллельных вычислений в распределенных вычислительных структурах // Распределенная обработка информации : тр. Междунар. конф. Новосибирск, 1998. С. 111–115.

2. Ivanov V., Sheynin Y., Syschikov A. Programming model for coarse-grained distributed heterogeneous architecture // Тр. XI симпозиума по проблеме избыточности в информац. системах / под ред. проф. Е. А. Крука. СПб. : ГУАП, 2007. С. 246–250.

3. Шейнин Ю. Е., Сыщиков А. Ю. Язык параллельного программирования крупногранулярных динамических вычислений // Параллельные вычисления и задачи управления : тр. III Междунар. конф. М. : ИПУ РАН, 2006.

4. Сыщиков А. Ю. Программа построения оптимальных расписаний выполнения средне-гранулярных параллельных программ, представленных графом процессов: рег. № ГосФАП – № 6447, 28.06.2006.

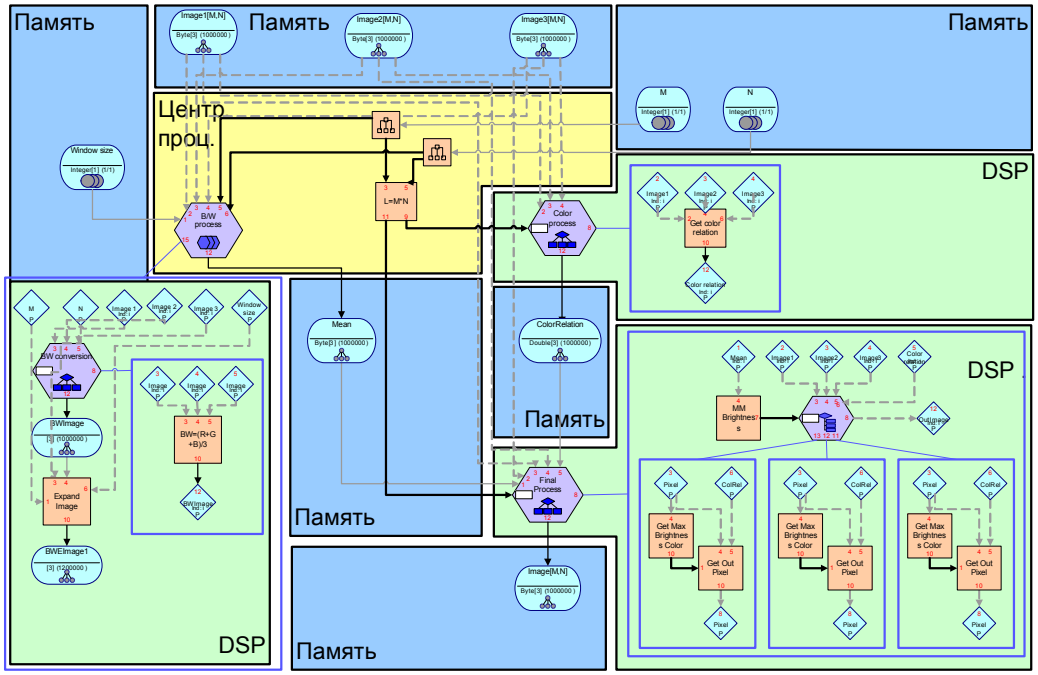


Рис. 6. Пример размещения схемы программы на неоднородной СнК

A. Yu. Syschikov

CONSEPT AND TECHNOLOGY OF PARALLEL PROGRAMMING FOR HETEROGENEOUS SYSTEM ON CHIP

Common Many-Core SoC architectures is a quick-growing segment of distributed parallel computing systems. Such systems cannot be effectively programmed "manually", however there are only basic instruments and tools for programming.

In this article we propose the concept of Many-Core SoC parallel programming. The concept presents visual programming approach, medium-grained parallel program organization with sequential grains and dynamics of parallel computation. The article suggests the set of tools named VIPE: VPL Integrated Programming Environment. VIPE includes strict mathematical formal model basis, visual parallel programming language for medium-grained programs design, toolset for mapping, translating and pre-compiling of the program scheme and the Many-Core SoC simulation software.

Keywords: system-on-Chip, parallel programming, dynamic computations, integrated programming environment.

© Сыщиков А. Ю., 2010

УДК 629.78

И. Н. Карцан, Е. С. Жукова, С. В. Литошик

ОСОБЕННОСТИ НАВЕДЕНИЯ БОРТОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПРИБОРОВ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС[1]

Рассматриваются особенности использования бортовых лазерных систем для периодической юстировки радиотехнических каналов измерения дальности контрольных станций спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС.

Ключевые слова: бортовая лазерная система, бортовой комплекс управления, наземный комплекс управления, радиочастотный канал, квантово-оптическая станция.

Квантово-оптические станции (КОС) предназначены для периодической юстировки радиотехнических каналов измерения дальности контрольных станций (КС) с помощью лазерного дальномера. В этих целях на каждом спутнике размещены специальные лазерные отражатели. Применение КОС обеспечивает высокоточное измерение параметров движения спутников ГЛОНАСС. В РФ разработаны три лазерные станции слежения, или КОС: лазерная дальномерная система «Гео-ИК»; КОС «Эталон»; КОС «Майданак».

Всего в России было сооружено 20 таких комплексов. Станция «Гео-ИК» является частью спутниковой геодезической системы «Гео-ИК», которая используется для определения земных координатных систем и моделей гравитационного поля Земли. Эти модели являются основой для высокоточных определений орбит спутников ГЛОНАСС.

Квантово-оптические станции типа «Эталон» и «Майданак» используются для корректировки радиолокационных измерений и в процессе определения орбит в ГЛОНАСС. Второе поколение КОС «Эталон» позволяет определять положение спутников, видимых по отраженному вниз солнечному свету (со звездной величиной менее чем 13), на максимальной высоте 20 000 км. Погрешность измерений дальности при интервале усреднения в 15 с составляет около 1,5…2 см, а углового положения – 2…3".

Квантово-оптическая станция «Майданак» представляет собой многофункциональный комплекс, который позволяет измерять дальность до космических объектов на высотах до 40 000 км (со звездной величиной 16). Максимальная угловая ошибка определения положения спутника имеет порядок от 0,5 до 1…2", а дальномерная ошибка – не более 1,5…1,8 см. Наиболее эффективно лазерные станции работают в ночное время, при хорошей видимости [1–3].

Взаимная синхронизация бортовой шкалы времени (БШВ) космических аппаратов системы ГЛОНАСС по межспутниковым измерениям при автономном функционировании космических аппаратов (без связи с Землей) для потребителя не решает задачу привязки системной шкалы времени к шкале всемирного координированного времени UTC (SU).

Орбитальная групповая шкала времени имеет случайные уходы относительно UTC (SU), которые невозможно определить без взаимодействия с наземными стандартами частоты.

Величина этих уходов изменяется, и для передачи потребителям информации с требуемой точностью необходимо периодически контролировать этот параметр наземными измерительными средствами.

Данная задача может решаться с использование наземной лазерной системы, шкала времени которой синхронизирована со шкалой времени наземного стандарта частоты системы ГЛОНАСС [4].

Выполнение перспективных требований по точностным характеристикам (ТХ) эфемеридно-временной информации (ЭВИ) для космических аппаратов (КА) космических навигационных систем (КНС) на длительных интервалах автономного функционирования связано со значительным уменьшением погрешностей радиотехнических измерительных средств при определении дальностей между КА в орбитальной группировке, а также между КА и наземными измерительными средствами. Однако радиотехнические измерительные средства не могут полностью обеспечить решение задачи по достижению перспективных ТХ ЭВИ.

Кроме этого существуют определенные проблемы, продиктованные трудностями дальнейшего повышения точностных характеристик бортовых стандартов частоты.

Необходимо значительное изменение технологии решения эфемеридно-временной задачи (ЭВЗ), по сравнению с реализованными в настоящее время в КНС ГЛОНАСС и GPS, путем использования для решения указанной целевой задачи лазерных каналов для проведения измерений навигационных параметров и передачи информации между КА, а также между КА и наземными лазерными средствами.

Решение ЭВЗ в системе ГЛОНАСС для обеспечения высокой точности эфемеридно-временной информации, передаваемой потребителям в навигационном кадре, и необходимость метрологического обеспечения ЭВИ КА, радиотехнических бортовых и наземных измерительных средств возможно по технологии, основанной на использовании измерений дальности между КА, а между КА и наземными средствами – с помощью аппаратуры лазерных систем (ЛАС).

ЛАС могут играть и самостоятельную роль в обеспечении требуемых точностных характеристик эфемерид-

[1] Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

но-временного обеспечения (ЭВО) потребителей. В частности, использование наземных лазерных средств (НЛС) для высокоточных лазерных измерений дальности в любое время суток позволит существенно увеличить количество проводимых измерений и, следовательно, организовав для ЭВО устойчивый технологический цикл, обеспечить достижение высоких точностных характеристик ЭВО КА ГЛОНАСС и, соответственно, точности навигационных определений потребителей, что имеет принципиальное значение для обеспечения конкурентоспособности системы ГЛОНАСС в сравнении с GPS.

В этой связи задача по использованию лазерных линий для регулярного оперативного уточнения частотно-временной поправки (ЧВП) БШВ и взаимной синхронизации БШВ, с приведением частотно-временных поправок к БШВ КА к орбитальной групповой шкале времени системы ГЛОНАСС является весьма актуальной.

Применение ЛАС для межспутниковых дальномерных измерений с погрешностью не более 10 см позволит определять относительные сдвиги бортовых шкал времени КА с погрешностью не более 1 нс.

Основными функциями бортовых лазерных систем (БЛС) являются:

– измерения межспутниковых расстояний с сантиметровой точностью;

– передача измерительной и любой другой информации между КА;

– синхронизация бортовых шкал времени (БШВ) КА системы с наносекундной точностью;

– калибровка бортовой радиотехнической аппаратуры КА.

Физические принципы проведения измерений, осуществляемые БЛС и НЛС, обеспечивают потенциально высокие точностные характеристики измерения дальности между КА и определения расхождения их бортовых шкал времени.

Проведение сеансов измерений между БЛС и наземной лазерной системой (НЛС), использование результатов лазерных измерений дальности и обмен информацией для решения эфемеридно-временных задач позволят повысить точностные характеристики эфемерид КА и частотно-временных поправок к БШВ КА относительно системной шкалы времени КНС (СШВ).

Измерения дальности между БЛС КА могут обеспечить с наносекундной точностью определение расхождений между истинными значениями БШВ КА и прогнозируемыми значениями.

Межспутниковые измерения позволяют также преодолеть сокращение зоны наблюдаемости КА при региональном расположении наземных измерительных пунктов, обеспечить обмен между КА любой информацией и увеличить длительность интервала автономного функционирования КНС при сохранении требуемых точностных характеристик навигационного поля системы.

На борту КА устанавливаются два комплекта бортовой лазерной системы (БЛС), опорно-поворотные устройства (ОПУ) которых обеспечивают полный обзор нижней полусферы:

– углы поворота ОПУ относительно оси $OY_{опу}$ опорного поворотного устройства на начало и окончание каждого сеанса взаимодействия БЛС КА-снайпера для наведения линии визирования на БЛС КА-мишени (назначаются в диапазоне от минус 90° до плюс 90°);

– углы поворота ОПУ относительно оси $OZ_{опу}$ опорного поворотного устройства на начало и окончание каждого сеанса взаимодействия БЛС КА-снайпера для наведения линии визирования на БЛС КА-мишени (назначаются в диапазоне от 0° до плюс 9°).

За счет наличия на борту КА двух комплектов БЛС, расположенных по оси Z с двух противоположных сторон КА, обеспечивается возможность взаимодействия БЛС КА одновременно с БЛС на двух КА.

Технические требования, предъявляемые к БЛС КА:

– среднее число лазерных импульсов, передаваемых в измерительно-связном сеансе – 200;

– скорость нацеливания линии визирования по каждой координате – 10 град/с;

– точность наведения линии визирования зависит от точности определения целеуказаний для БЛС КА-снайпера при нацеливании линии визирования на БЛС КА-мишени, погрешности приводов ОПУ и погрешности ориентации ОПУ БЛС относительно опорной системы координат. Определение угла поворота ОПУ относительно оси $OY_{опу}$ и угла поворота ОПУ относительно оси $OZ_{опу}$ опорного поворотного устройства на начало и окончание каждого сеанса взаимодействия для высокоточного наведения линии визирования используется эфемеридная информация, имеющаяся на борту КА;

– отработка угловых рассогласований приводами ОПУ БЛС должна быть не хуже 1 угл. мин;

– ширина диаграммы направленности лазерного передатчика не менее $\theta_{пер}$ = 10 угл. мин;

– ширина диаграммы направленности лазерного приемника $\theta_{пр}$ = 1,5 град;

– минимальный угол между линией визирования и вектором направления на Солнце – 30 град.;

– минимальный угол между линией визирования и вектором направления на центр Луны – 20 град.;

– минимальный угол между линией визирования и вектором направления на центр Земли – 20 град.;

– минимальный угол между линией визирования и вектором направления на любой элемент конструкции КА – 20 град.

Эфемериды КА известны с точностью, позволяющей определить направление линии визирования на КА-снайпере на КА-мишень с угловой погрешностью не хуже десяти угловых секунд.

Таким образом, точность наведения оптических блоков, кроме погрешностей отработки угловых рассогласований, погрешностей выставки оптических осей БЛС относительно ее приборной системы координат (ПСК) и ее юстировки относительно связанной системы координат (ССК) КА, существенно зависит и от погрешностей ориентации КА, включающих погрешности командных приборов системы ориентации и динамику процессов ориентации.

Использование для взаимного наведения БЛС системы координат КА в качестве опорной системы не позволит выполнить требования по точности наведения лазерного передатчика и лазерного приемника при проведении сеансов.

Повышение точности ориентации платформы ОПУ БЛС возможно при создании для БЛС опорной системы координат с помощью модуля астроориентиров (МАО), которые входят в состав БЛС. В качестве опорной системы координат назначается текущая инерциальная экваториальная геоцентрическая система координат.

Инерциальная экваториальная геоцентрическая система координат 2000 г. (ИЭГСК 2000) определяется следующим образом:

– центр СК находится в центре масс Земли;

– ось $OX_{\text{г}}$ направлена в точку весеннего равноденствия, зафиксированную на 00:00:00 1 января 2000 г.;

– ось $OZ_{\text{г}}$ перпендикулярна плоскости экватора, зафиксированной на 00:00:00 1 января 2000 г., и направлена в сторону Северного полюса Земли;

– ось $OY_{\text{г}}$ дополняет систему координат до правой;

– S – звездное время на момент времени t_0.

$$S = S_0 + 0,729\ 211\ 585 \cdot 10^{-4} t_0,$$

где ε_0 – средний наклон эклиптики к экватору; $C_{\text{РАД}} = 0,484\ 813\ 68 \cdot 10^{-5}$ – константа перевода из угловых секунд в радианы.

Рассчитываются вспомогательные параметры:

$$c_1 = (450\ 160'',280 - 696\ 289\ 0'',539 \cdot T + 7'',455 \cdot T^2) \cdot C_{\text{РАД}},$$

$$c_2 = (-286\ 322'',15 + 129\ 602\ 771'',27 \cdot T + 1'',089 \cdot T^2) \cdot C_{\text{РАД}},$$

$$c_3 = (128\ 709\ 9'',804 + 129\ 596\ 581'',224 \cdot T - 0'',577 \cdot T^2) \cdot C_{\text{РАД}},$$

$$\Delta\psi = (-0,833\ 860\ 113\ 705 \cdot 10^{-4} \sin c_1 + 0,999\ 685\ 8 \cdot 10^{-6} \sin 2c_1 -$$

$$-0,639\ 323\ 8 \cdot 10^{-5} \sin 2c_2 + 0,691\ 344\ 308 \cdot 10^{-6} \sin c_3) \cos \varepsilon_0.$$

Истинное гринвичское звездное время S_0 в 0^h гринвичского времени определяется по формуле

$$S_0 = 1,753\ 368\ 559\ 233 +$$

$$+0,017\ 202\ 791\ 805\ 25d +$$

$$+0,677 \cdot 10^{-5} T^2 + \Delta\psi \cdot \cos \varepsilon_0.$$

Звездное время S приводится к диапазону $[0 - 2\pi]$.

Рассчитывается координаты и вектор скорости НКА ГЛОНАСС в инерциальной текущей экваториальной геоцентрической системе координат по следующим формулам:

$$X_{\text{г}} = X_{\text{гр}} \cdot \cos S - Y_{\text{гр}} \cdot \sin S;$$

$$Y_{\text{г}} = X_{\text{гр}} \cdot \sin S - Y_{\text{гр}} \cdot \cos S;$$

$$Z_{\text{г}} = Z_{\text{гр}};$$

$$Vx_{\text{г}} = Vx_{\text{гр}} \cdot \cos S - Vy_{\text{гр}} \cdot \cos S;$$

$$Vx_{\text{г}} = Vx_{\text{гр}} \cdot \sin S + Vy_{\text{гр}} \cdot \cos S;$$

$$Vz_{\text{г}} = Vz_{\text{гр}}.$$

Инерциальная текущая экваториальная геоцентрическая система координат (*ИЭГСК*) определяется следующим образом:

– центр СК находится в центре масс Земли;

– ось $OX_{\text{г}t}$ направлена в текущую точку весеннего равноденствия;

– ось $OZ_{\text{г}t}$ перпендикулярна текущей плоскости экватора и направлена в сторону Северного полюса Земли;

– ось $OY_{\text{г}_t}$ дополняет систему координат до правой.

Модуль астроориентиров предназначен для следующего:

– определения трехосной ориентации приборной системы координат БЛС в инерциальной геоцентрической системе координат;

– выдачи вычислительному устройству (ВУ) информации о трехосной ориентации приборной системы координат БЛС относительно инерциальной геоцентрической экваториальной системы координат (ИГЭСК) – матрицы перехода от ИГЭСК к приборной системе координат БЛС;

– уточнения программного наведения и сопровождения ОПУ БЛС при выполнении сеансов взаимодействия.

Проведение сеансов измерений между БЛС и наземной лазерной системой будут практически отрабатываться на малом космическом аппарате «Юбилейный-2», на котором будет установлена аппаратура «Блик» (рис. 1). Прием и хранение телеметрии космического аппарата «Юбилейный-2» организовывается в Студенческом центре управления полетами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева [5; 6].

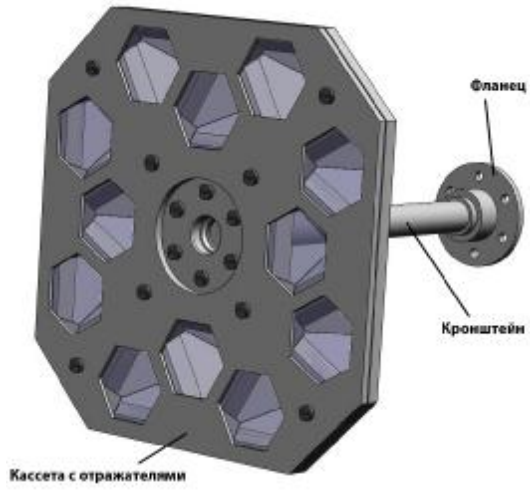


Рис. 1. Схема конструкции аппаратуры «Блик»

Температурные режимы определяют материал, из которого изготовлены отражающие призмы – плавленый кварц марки КУ-1 (кварц ультрафиолетовый), с улучшенной пропускающей способностью в ультрафиолетовой части спектра (рис. 2).

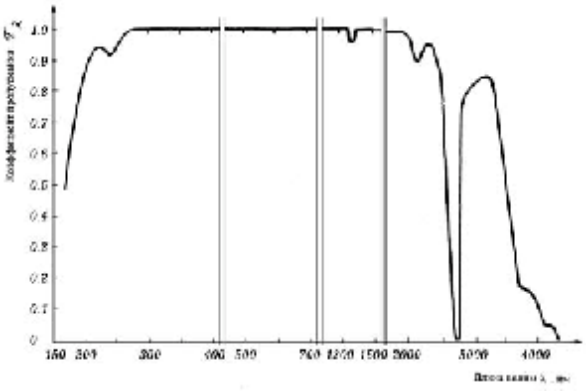


Рис. 2. Спектральная кривая коэффициента пропускания оптического кварцевого стекла марки КУ-1

Стекло марки КУ-1 – стекло кварцевое оптическое, прозрачное в ультрафиолетовой и видимой областях спектра, с интенсивной полосой поглощения в интервале длин волн 170…250 нм, с заметной полосой поглощения в интервале 2 600...2 800 нм.

Масса устройства в сборе не более 700 г. Кассета для крепления отражателей изготовлена из алюминиевого сплава марки АМГ-6. Габаритные размеры деталей даны на рис. 3.

В настоящей статье не рассматриваются особенности модуля астроориентиров, принцип его функционирования, интерфейс с ОПУ и основные характеристики, а предлагается ограничиться только результатом его взаимодействия с ОПУ БЛС – создание для любого момента времени на каждом КА орбитальной группировки ГЛОНАСС инерциальной экваториальной геоцентрической системы координат и ее поддержание в течение штатного функционирования системы, что обеспечивает при выполнении сеансов измерений и обмена информацией по лазерной линии высокоточное взаимное наведение оптических осей лазерного передатчика КА-снайпера на фотоприемник лазерного излучения КА-мишени.

Библиографические ссылки

1. ГЛОНАСС. Принцип построения и функционирования / под ред. А. И. Петрова, В. Н. Харисова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Радиотехника, 2010.

2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. 5-я ред. М. : Военно-космические силы, 2002.

3. Карцан И. Н. Метод исключения ошибок определения местоположения при одновременном использовании навигационных систем // Вестник СибГАУ. 2008. № 3. С. 101–103.

4. Гречкосеев А. К., Почукаев В. Н. Исследование задачи определения эфемерид системы ГЛОНАСС по межспутниковым измерениям на основе орбитального кристалла [Электронный ресурс] // Труды МАИ : электрон. журн. 2009. № 34. URL: www.mai.ru\science\trudy.

5. Карцан И. Н. Наземный комплекс управления для малых космических аппаратов // Вестник СибГАУ. 2009. № 3. С. 89–92.

6. Жукова Е. С., Карцан И. Н. Обеспечение конфиденциальности информации в центре управления полетами // Вестник СибГАУ. 2009. № 3. С. 93–97.

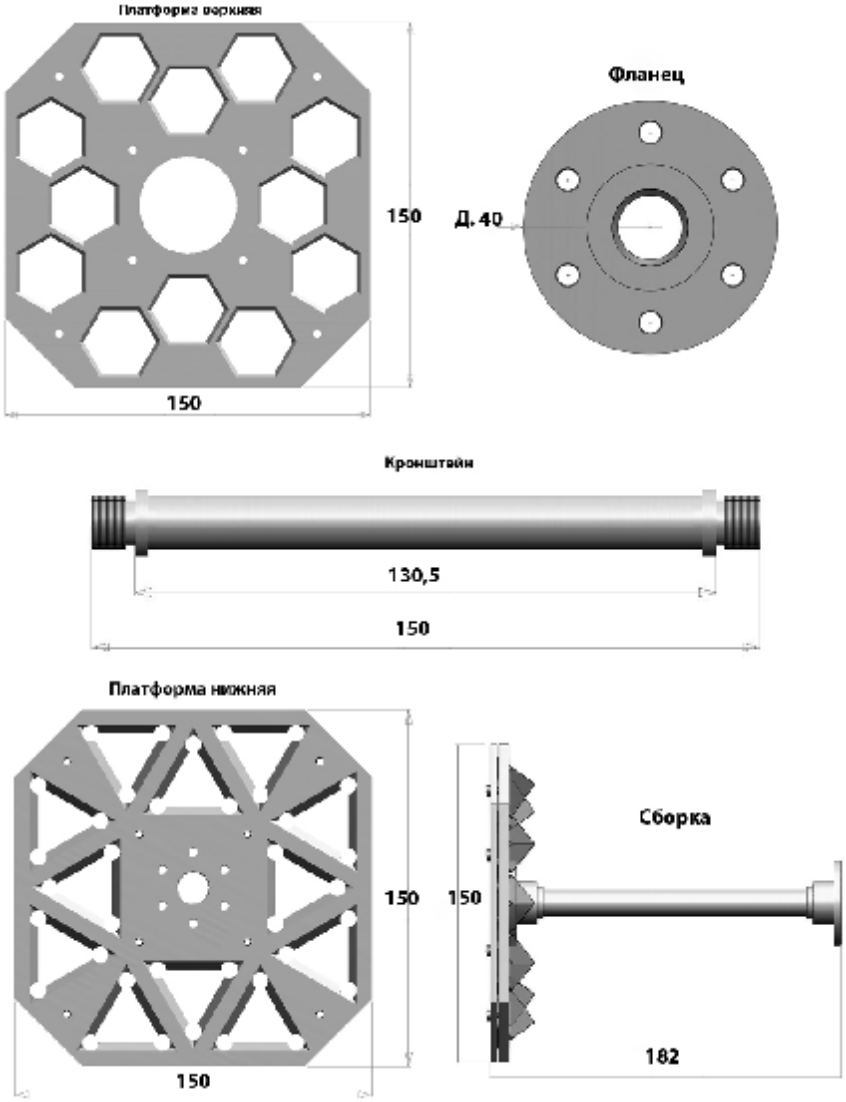


Рис. 3. Габаритные размеры деталей и сборки

I. N. Kartsan, E. S. Zhukova, S. V. Litoshik

CHARACTERISTIC FEATURES OF TARGETING VIA AURBORNE LASER SPACE RADIO NAVIGATION DEVICES OF GLONASS SYSTEM

Characteristic features of usage of airborne laser systems for periodic adjustment of radio channels for range measurements of control stations of GLONASS satellite radio navigation system are considered in the article.

Keywords: airborne laser system, onboard control complex, ground control complex, radio frequency channel, the quantum-optical station.

© Карцан И. Н., Жукова Е. С., Литошик С. В., 2010

УДК 630.43:662.519.6

В. С. Коморовский, Г. А. Доррер

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ КАК ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Предлагается простая методика расчета параметров процесса распространения лесного пожара. Методика основана на представлении пожара в виде подвижного множества на поверхности Земли. Информационной базой предлагаемой методики служат данные космического мониторинга лесных пожаров.

Ключевые слова: космический мониторинг, динамические процессы, лесные пожары, прогнозирование.

Одной из областей, где требуется применение методов математического моделирования и теории управления, является охрана и рациональное использование природных ресурсов. Объекты, принадлежащие этой области, характеризуются, как правило, распределенностью в пространстве и зависимостью от большого числа трудно контролируемых факторов.

Особую группу составляют объекты, имеющие характер подвижных множеств или плоских волн на поверхности Земли. Примерами могут служить лесные и степные пожары, зоны загрязнения земной и водной поверхности, области, пораженные вредителями растений, зоны почвенной эрозии и опустынивания. Важность изучения таких объектов возрастает в связи с ростом антропогенной нагрузки на биосферу, процессами изменения климата.

Перечисленные объекты имеют разную физическую природу, различные пространственные и временные масштабы, но при определенных допущениях их динамика, в том числе процессы управления ими, могут быть описаны единым образом. Наиболее полно круг проблем, связанных с изучением этих процессов, актуальность таких исследований, их цели и задачи можно показать на примере лесных пожаров.

Задача охраны лесов от пожаров является весьма актуальной во всем мире в настоящее время. Так, в Российской Федерации по данным информационной системы дистанционного мониторинга федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) за пожароопасные сезоны 2008 и 2009 гг. произошло 35 337 пожаров, огнем пройдено 15 565 510 га, в том числе 9 772 782 га покрытых лесом площадей [1]. Поскольку лес является одним из важнейших стратегических ресурсов, задача охраны лесов от пожаров, и в том числе моделирование и прогнозирование распространения пожаров, является чрезвычайно важной задачей. К настоящему времени разработано достаточное количество математических моделей распространения лесных пожаров и базирующихся на их основе методов прогнозирования. Эти модели и методы содержат разные подходы к рассмотрению процесса горения в природном пожаре, однако их общей особенностью является высокая требовательность к информационному обеспечению моделирования, т. е. условием построения адекватной модели и, соответственно, прогноза, является точное знание множества характеристик местности, на которой происходит пожар, состояния растительных горючих материалов, погодных условий. На текущий момент создать информационную базу для обеспечения построения прогнозов на основе таких моделей в России не представляется возможным.

Наиболее полная информация о лесопожарной обстановке на данный момент содержится в ИСДМ-Рослесхоз. Эта информационная система существует и развивается с 1995 г. Источниками информации, представленной в ИСДМ-Рослесхоз, являются данные космического, авиационного и наземного мониторинга лесных пожаров. Причем, ввиду обширности зон наблюдения, методы космического мониторинга играют ведущую роль. В сборе данных участвуют спутники серий NOAA, TERRA, AQUA, SPOT, LANDSAT ETM+, МСУ-Э [1].

Наличие достоверного прогноза распространения и развития лесного пожара позволяет оценить угрозу природной среде, объектам экономики и населенным пунктам, принять необходимые меры по предотвращению ущерба, спланировать работу противопожарных сил. Одним из важнейших моментов при прогнозировании лесного пожара является построение его контуров. В настоящей работе представлена методика расчета контуров крупных (площадью более 200 га) лесных пожаров на основе ограниченной информации, доступной в ИСДМ-Рослесхоз [2; 3].

Наиболее полная информация, доступная в ИСДМ-Рослесхоз и базах данных территориальных авиабаз, связана с динамикой изменения площади лесных пожаров. Поэтому моделирование процесса распространения пожара целесообразно начинать с этого показателя. При моделировании конфигурации пожара удобно использовать принцип Гюйгенса, описывающий распространение волн в анизотропной плоской среде.

Данная методика может быть использована для моделирования других динамических процессов, упомянутых выше.

Исходные допущения. Были приняты следующие допущения:

1. Динамика изменения площади пожара определяется выражением

$$S(t) = k_0(t - t_0)^{\alpha}, \qquad (1)$$

где t – текущее время, сут; t_0 – время возникновения пожара, сут; α – показатель динамики пожара; k_0 – постоянный коэффициент имеющий размерность га/сут$^{\alpha}$. Как ясно из геометрических соображений и будет показано ниже, с показателем а связано также изменение скорости фронта пожара: при $\alpha = 2$ скорость фронта пожара постоянна, при $\alpha < 2$ эта скорость со временем уменьшается, а при $\alpha > 2$ – скорость возрастает.

2. Скорость фронта пожара в соответствии с принципом Гюйгенса представляется как $\nu(\phi, \tau) = \nu_0(t)\xi(\phi)$, где $\nu_0(t)$ – подлежащая определению максимальная скорость распространения фронта пожара (например, в направлении ветра); $\xi(\phi)$ ($|\xi| \le 1$) – индикатриса полной скорости фронта, определяющая конфигурацию пожара; ϕ – направление распространения ($0 \le \phi \le 2\pi$). Таким образом, в общем случае

$$v_0 = v_0(w, t),$$
$$\xi = \xi(w, \phi),$$

где w – величина скорости ветра, м/с. Там, где это не требуется, зависимость от w опускаем.

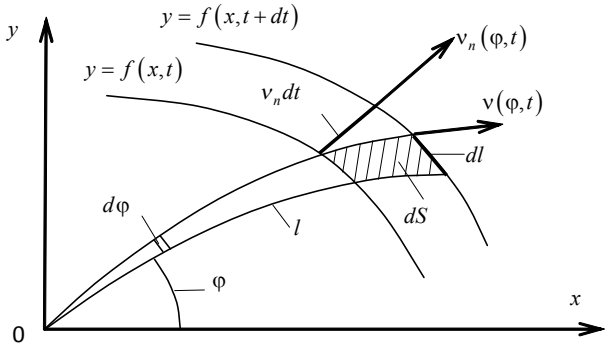
Индикатриса определяется скоростью и направлением ветра, она принимается неизменной в расчетный период времени; угол ϕ в приведенных ниже формулах отсчитывается от направления ветра по часовой стрелке.

Формулы для расчета скорости фронта пожара. Для упрощения формул в данном разделе положим $t_0 = 0$. Рассмотрим элементарное приращение площади dS. На рисунке показана кромка пожара в два близких момента времени t и $t + dt$. Из рисунка следует, что $dS = \nu_n dtdl$, где ν_n – нормальная скорость фронта; dl – приращение длины контура, которое вычисляется по формуле [4]

$$dl = ld\phi = d\phi\sqrt{\xi^2(\phi) + \xi^2(\phi)}\int_0^t v_0(\tau)d\tau. \qquad (2)$$

В свою очередь, нормальная скорость связана с полной скоростью соотношением

$$v_n(\phi, t) = \frac{v(\phi, t)}{\sqrt{1 + (\frac{v'(\phi, t)}{v(\phi, t)})^2}} = \frac{v_0(t)\xi^2(\phi)}{\sqrt{\xi^2(\phi) + \xi'^2(\phi)}}.$$



К выводу формулы скорости фронта пожара

Отсюда

$$dS = d\phi dt v_0(t)\xi^2(\phi)\int_0^t v_0(\tau)d\tau.$$

Приращение площади по всем направлениям распространения

$$dS_{2\pi} = \int_0^{2\pi} dSd\phi = 2dtv_0(t)\int_0^{\pi} d\phi\xi^2(\phi)\int_0^t v_0(\tau)d\tau.$$

Скорость прироста всей площади пожара

$$\frac{dS}{dt} = 2v_0(t)\int_0^{\pi}\xi^2(\phi)d\phi\int_0^t v_0(\tau)d\tau, \qquad (3)$$

а динамика общей площади примет вид

$$S(t) = 2\int_0^{\pi}\xi^2(\phi)d\phi\int_0^t v_0(\tau)\int_0^{\pi} v_0(\xi)d\xi d\tau.$$

Рассмотрим теперь закон изменения скорости фронта пожара. Будем искать функцию $\nu_0(t)$ в виде $\nu_{0S}(t^{\beta})$, где величины β и ν_{0S} подлежат определению. Тогда интеграл по времени в уравнении (3) будет равен

$$\int_0^t v_0(\tau)d\tau = \frac{1}{\beta}v_{0S}t^{\beta+1},$$

а скорость прироста площади

$$\frac{dS}{dt} = 2\frac{v_{0S}^2}{\beta+1}t^{2\beta+1}\int_0^{\pi}\xi^2(\phi)d\phi.$$

С другой стороны, из первоначального предположения $S(t) = k_0t^{\alpha}$ следует

$$\frac{dS}{dt} = k_0\alpha t^{\alpha-1},$$

откуда получаем уравнение

$$2\frac{v_{0S}^2}{\beta+1}t^{2\beta+1}\int_0^{\pi}\xi^2(\phi)d\phi = k_0\alpha t^{\alpha-1}. \qquad (4)$$

Приравняв в уравнении (4) показатели степени при t, получим $2\beta + 1 = \alpha - 1$, откуда

$$\beta = \frac{\alpha}{2} - 1.$$

Далее, приравняв множители при t, определим величину ν_{0S}:

$$v_{0S} = \left(\frac{\alpha k_0(\beta+1)}{2\int_0^{\pi}\xi^2(\phi)d\phi}\right)^{1/2} = \frac{\alpha\sqrt{k_0}}{2\int_0^{\pi}\xi^2(\phi)d\phi} = \frac{\alpha\sqrt{k_0}}{2P(w)}, \qquad (5)$$

где

$$P(w) = \int_0^{\pi}\xi^2(w,\phi)d\phi .$$

Формула (5) есть искомая формула для расчета скорости пожара.

На основе формулы (2) можно вычислить также периметр горящей кромки пожара. В частном случае, когда пожар развивается из очага малого радиуса (точечного очага)

$$L(t) = 2\int_0^{\pi} l d\phi = 2\int_0^{t} v_0(\tau)d\tau\int_0^{\pi}\sqrt{\xi^2(w,\phi)+\xi'^2(w,\phi)}d\phi .$$

Формула для скорости прироста периметра пожара примет вид

$$\frac{dL(t)}{dt} = 2v_0(t)Q(w), \qquad (6)$$

где

$$Q(w) = \int_0^{\pi}\sqrt{\xi^2(w,\phi)+\xi'^2(w,\phi)}d\phi .$$

Индикатрисы скорости фронта. Рассмотрим конкретные выражения для индикатрис.

Экспоненциальная индикатриса равна [4]

$$\xi(\phi) = \exp(a(w)(\cos(f)-1)),$$

где $\alpha(w)$ – коэффициент, зависящий от скорости ветра: $\alpha(w) = 0{,}785w - 0{,}06w^2$.

Формула справедлива при условиях $0 \le w \le 3$ м/с. Тогда интегралы, стоящие в выражениях (5) и (6), примут вид

$$P(w) = \int_0^{\pi}\xi^2(w,\phi)d\phi =$$

$$= \exp(-2a(w))\int_0^{\pi}\exp(2a(w)\cos(\phi))d\phi,$$

$$Q(w) = \int_0^{\pi}\sqrt{\xi^2(w,\phi)+\xi'^2(w,\phi)}d\phi =$$

$$= \int_0^{\pi}\xi(w,\phi)\sqrt{1+\frac{a^4(w)}{4}\sin^2(2\phi)}d\phi.$$

Вычисленные величины этих интегралов для некоторых значений скорости ветра приведены в табл. 1.

Эллиптическая индикатриса равна

$$\xi(\phi) = \frac{1-e(w)}{1-e(w)\cos(\phi)},$$

где $e(w)$ – эксцентриситет эллипса, зависящий от скорости ветра.

Для оценки зависимости эксцентриситета эллиптической индикатрисы от скорости ветра были аппроксимированы эллипсами графики индикатрис, приведенные в работе Ф. Альбини [5], для большого диапазона скоростей ветра и вычислены соответствующие эксцентриситеты. Была получена следующая аппроксимация зависимости эксцентриситета от скорости ветра:

$$e(w) = 1 - \exp(-0{,}4w).$$

Затем были вычислены значения интеграла $P(w)$ и $Q(w)$. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Сравнивая данные табл. 1 и 2, можно увидеть, что значения функций $P(w)$ и $Q(w)$ для обеих индикатрис заметно различаются при одних и тех же скоростях ветра. При этом следует учитывать, что в первом случае скорость ветра вычислялась на высоте двух метров от земли, а во втором – на высоте десяти метров, и этим также объясняется более вытянутая форма эллиптической индикатрисы.

Погрешность предлагаемой методики. Понятно, что погрешности всех исходных данных вносят погрешность в конечный результат. В данной работе мы ограничимся простейшим расчетом погрешностей, связанных с оценкой площади пожара и его суточного прироста. Более точный расчет потребует привлечения законов распределения переменных.

Пусть погрешность определения площади пожара составляет δS га. Рассмотрим вызванные этим погрешности параметров модели (1). Погрешность в оценке коэффициента k

$$\delta S = \frac{\partial S}{\partial t}\delta k = t^{\alpha}\delta k,$$

откуда

$$\delta k = \frac{\delta S}{t^{\alpha}}. \qquad (7)$$

Погрешность в оценке времени распространения пожара:

$$\delta S = \frac{\partial S}{\partial t}\delta t = k\alpha t^{\alpha-1}\delta t,$$

откуда

Таблица 1

Значения интегралов квадрата экспоненциальной индикатрисы в зависимости от скорости ветра

w, м/с	0	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
$\alpha(w)$	0	0,078	0,155	0,378	0,725	1,33	1,815
$P(w)$	3,142	2,705	2,361	1,1695	1,178	0,818	0,686
$Q(w)$	3,142	2,911	2,708	2,234	1,758	1,455	1,535

Таблица 2

Значения интегралов квадрата эллиптической индикатрисы в зависимости от скорости ветра

w, м/с	0	1,25	2,5	5	10	15
$e(w)$	0	0,393	0,632	0,865	0,982	0,998
$P(w)$	3,142	1,469	0,782	0,588	0,539	0,193
$Q(w)$	3,142	2,151	1,60	1,424	1,379	1,194

$$\delta t = \frac{\delta S}{k\alpha t^{\alpha-1}}. \quad (8)$$

Погрешность в оценке показателя α:

$$\delta S = \frac{\partial S}{\partial \alpha}\delta\alpha = kt^{\alpha}\ln t\delta\alpha,$$

откуда

$$\delta\alpha = \frac{\delta S}{kt^{\alpha}\ln t}. \quad (9)$$

Из формул (7)–(9) видно, что погрешности всех переменных, от которых зависит модель (1), зависят от времени и уменьшаются с ростом t.

Численный пример расчета скорости распространения пожара. Зарегистрированный в системе ИСДМ-Рослесхоз пожар К-1002 действовал в Идринском лесничестве Красноярского края с 10.05.2008 г. по 16.05.2008 г. Пожар был зарегистрирован на площади 393 га, площадь ликвидации 1163 га. Температура воздуха была 22,7 град., скорость ветра – 1 м/с, направление ветра – 180 град.

Примем, что погрешность определения площади составляет δS = 100 га, Δt = 16 – 10 = 6 сут. Принимаем показатель скорости роста площади пожара α = 2, т. е. предполагаем, что скорость фронта пожара постоянна.

Вычислим коэффициент k и его погрешность в модели:

$$K = \Delta S/\Delta t^2 = 770/36 = 21{,}4 \text{ га/сут}^2,$$
$$\delta k = 100/36 = 2{,}7 \text{ га/сут}^2.$$

Оценка погрешности коэффициента а по формуле (9) дает величину

$$\delta\alpha = \frac{100}{21{,}4\cdot 6^2\cdot \ln 6} = 0{,}07.$$

Поскольку скорость ветра невелика, воспользуемся экспоненциальной индикатрисой. Для скорости ветра w = 1 м/с по табл. 1 определяем множители $P(w)$ = 1,178 и $Q(w)$ = 1,758.

В соответствии с формулой (5), переведя гектары в квадратные метры, получим

$$v_{0S} = \frac{\sqrt{k}}{P(\omega)} = \sqrt{\frac{21{,}4\cdot 10^4}{1{,}178}} = 426 \text{ м/сут.}$$

С учетом возможной погрешности δk величина скорости фронта будет находиться в следующем диапазоне: $275 \le v_{0S} \le 577$ м/сут.

По формуле (6) можно оценить скорость прироста периметра пожара:

$$\frac{dL(t)}{dt} = 2v_0(t)Q(w) = 2\cdot 426\cdot 1{,}758 = 1498 \pm 531 \text{ м/сут.}$$

Полученная оценка скорости фронта пожара в сочетании с выбранной индикатрисой распространения позволяет строить прогнозные оценки контура пожара через определенное время.

Представленная в статье простая методика оценки параметров процесса распространения, основанная на использовании геометрической модели, позволяет осуществлять прогнозирование распространения лесных пожаров, исходя из информации, хранящейся в ИСДМ-Рослесхоз. В методике используются индикатрисы двух видов, в зависимости от скорости ветра в районе пожара: экспоненциальная и эллиптическая. Полученные формулы применены для численного расчета параметров реального пожара, оценены их погрешности. Описываемый метод расчета применяется для построения контуров пожаров на основании нейросетевых прогнозов в программном комплексе «Тайга-2» и в разработке информационной системы прогнозирования лесных пожаров для ИСДМ-Рослесхоз.

Библиографические ссылки

1. Информационная система дистанционного мониторинга федерального агентства лесного хозяйства [Электронный ресурс]. Пушкино : ФГУ Авиалесоохрана, 2010 // URL: http://www.pushkino.aviales.ru/rus/main.sht.
2. Доррер Г. А. Проблемы прогнозирования крупных лесных пожаров // Материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. : сб. ст. – Красноярск, 2009. – С. 5–8.
3. Коморовский В. С. Оценка возможности прогнозирования распространения лесных пожаров по данным «ИСДМ-Рослесхоз» [Электронный ресурс] // Современные проблемы информатизации в системах моделирования, программирования и телекоммуникациях : сб. ст. I Междунар. науч. конф. // URL: http://econf.rae.ru/article/4679.
4. Доррер Г. А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008.
5. Albini F. A. Estimating wildfire behavior end effects // USDA Forest Service, Gen, Tec. Rep. INT-30, Ogden, 1976. (Intermountain Forest and Range Exp. Stn.).

V. S. Komorovski, G. A. Dorrer

METHOD OF CALCULATION OF PARAMETERS OF FOREST FIRES, AS DYNAMIC PROCESSES IN THE EARTH SURFACE BASED ON SPACE MONITORING DATA

A simple method for parameters of forest fire calculation is suggested in this article. The method is based on the representation of a fire in terms of a mobile set on the surface of the Earth. The information base for the proposed methodology is the data of space monitoring of forest fires.

Keywords: forest fires, forecasting, space monitoring, dynamic processes.

© Коморовский В. С., Доррер Г. А., 2010

УДК 519.72 (075.8)

В. В. Подколзин, В. О. Осипян

О СВОЙСТВАХ РЮКЗАЧНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ С ОТКРЫТЫМ КЛЮЧОМ В Z_P

Исследуются свойства последовательностей чисел, выражаемых через компоненты рюкзачного вектора. Анализируются свойства изоморфных и подобных рюкзачных систем защиты информации. Приводятся методы увеличения криптостойкости рюкзачных систем защиты информации с открытым ключом.

Ключевые слова: рюкзачный вектор, изоморфизм, криптоанализ, плотность, инъективность.

Обозначим через Z_p множество натуральных чисел $\{0, 1, \ldots, p-1\}$, а через Z_p^n – множество всех числовых наборов длины n с компонентами из Z_p.

Задача о рюкзаке для заданных $w \in N$ и вектора $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$, где $a_i \in N$, $i = 1\ldots n$, имеет решение в Z_p, если существует решение уравнения

$$Ax^T = w, x \in Z_p^n. \quad (1)$$

Вектор A уравнения (1) будем называть рюкзачным вектором.

Рюкзачный вектор $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – инъективный, если для любого натурального w уравнение (1) имеет не более одного решения. Рюкзачный вектор, у которого существуют два элемента $a_i = a_j$, $i \neq j$ не является инъективным. Инъективность рюкзачного вектора позволяет говорить об однозначности восстановления исходного текста по криптограмме. Самыми простыми с точки зрения понимания и алгоритмизации инъективными рюкзачными векторами являются сверхрастущие рюкзачные векторы, для компонентов которых в Z_p выполняются соотношения

$$a_j > \sum_{i=1}^{j-1}(p-1)a_i, j = 2\ldots n. \quad (2)$$

Рюкзачный вектор $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – является неубывающим, если его компоненты упорядочены по правилу $a_{i-1} \leq a_i$, $i = 2\ldots n$. Соответственно, вектор является возрастающим, если его компоненты упорядочены по правилу $a_{i-1} < a_i$, $i = 2n$.

Определение. Вариацией вектора $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ ($a_i \in N$, $i = 1\ldots n$) в Z_p назовем вектор $\Delta A = (\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n)$, для компонентов которого выполняются соотношения

$$\delta_1 = a_1, \ \delta_j = a_j - \sum_{i=1}^{j-1}(p-1)a_i, \ j = 2\ldots n. \quad (3)$$

На основе вектора ΔA можно однозначно определить соответствующий ему рюкзачный вектор A в Z_p:

$$a_1 = \delta_1,$$

$$a_i = \delta_i + (p-1)\sum_{j=1}^{i-1} a_j = \delta_i + (p-1)\sum_{j=1}^{i-1} p^{i-j-1}\delta_j,$$

$$i = 2\ldots n. \quad (4)$$

Обозначим через $\mu(p, A)$ множество различных значений w, для которых уравнение (1) имеет решение. Мощность $\mu(p, A)$ не превышает p^n, так как количество различных векторов в Z_p^n равно p^n. Значение $|\mu(p, A)|$ достигает верхней грани, если

$$\forall x_1, x_2 \in Z_p^n \ x_1 \neq x_2 \Rightarrow Ax_1^T \neq Ax_2^T. \quad (5)$$

Таким образом, мощность $\mu(p, A)$ достигает верхней грани, тогда и только тогда вектор A инъективен. Действительно, если вектор A – инъективный, то выполняются соотношения (5) и различных значений Ax^T ($x \in Z_p^n$) столько, сколько различных элементов в Z_p^n, т. е. p^n. С другой стороны, если $|\mu(p, A)| = p^n$, то существует взаимнооднозначное соответствие между элементами $\mu(p, A)$ и Z_p^n, а следовательно, имеет место единственность решения уравнения (1) для любого $w \in \mu(p, A)$. Из последнего следует инъективность рюкзачного вектора A.

Определение. Величину

$$d_p(A) = \frac{|\mu(p, A)|}{\sum_{i=1}^{n}(p-1)a_i} \quad (6)$$

назовем плотностью рюкзачного вектора A в Z_p.

Плотность определяет отношение мощности $\mu(p, A)$ к длине отрезка $[0, \sum_{i=1}^{n}(p-1)a_i]$. Очевидно, что $\forall x \in Z_p^n$ значение $Ax^T \in [0, \sum_{i=1}^{n}(p-1)a_i]$. Таким образом, $0 < d_p(A) \leq 1$. Причем для инъективных рюкзачных векторов плотность равна 1, тогда и только тогда, когда все компоненты вариации вектора A равны единице [1], а криптоанализ таких рюкзачных систем состоит в нахождении p.

Каждому набору $x = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n) \in Z_p^n$ соответствует $w_x = Ax^T$, $w_x \in \mu(p, A)$. Выпишем последовательность $W_{\mu(p, A)} = (w_0, w_1, w_2, \ldots, w_k)$, где $w_i = Ax_i^T$, $x_i = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n)$, $i = \sum_{i=1}^{n}\alpha_i p^{n-i}$, $i = 0\ldots k$, $k = p^n - 1$. В случае, если вектор A не является инъективным в $W_{\mu(p, A)}$ существуют два значения $w_i = w_j$, $i \neq j$. Обозначим последовательность $\Delta W_{\mu(p, A)} = (m_1, m_2, \ldots, m_k)$, где $m_i = w_i - w_{i-1}$ ($i = 1\ldots p^n - 1$).

Последовательность $\Delta W_{\mu(p, A)}$ является симметричной относительно середины и может быть определена рекурсивно относительно размерности рюкзачного вектора A.

Пусть $A_n = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ ($a_i \in N$, $i = 1\ldots n$) – рюкзачный вектор. Вектор $A_{n+1} = (a_1, a_2, \ldots, a_n, a_{n+1})$ получен из A_n добавлением компонента $a_{n+1} \in N$. Тогда

$$\Delta W_{\mu(p, An+1)} = (W_{\mu(p, An)}, \delta_{n+1}, \Delta W_{\mu(p, An)}, \delta_{n+1}, \Delta W_{\mu(p, An)}, \ldots, \delta_{n+1}, \Delta W_{\mu(p, An)}),$$

где δ_{n+1}, $\Delta W_{\mu(p, An)}$ повторяется p–1 раз.

Последовательность $\Delta W_{\mu(p, A)}$ описывает расстояния между элементами последовательности $W_{\mu(p, A)}$, т. е. ее «разреженность», а следовательно, является характеристикой $\mu(p, A)$.

Из симметричности $\Delta W_{\mu(p, A)}$ следует, что любой $w \in W_{\mu(p, A)}$ может быть представлен двумя способами

$$w = \sum_{j=1}^{n}\alpha_j\alpha_j = \sum_{k=1}^{n}(p-1)\alpha_k - \sum_{i=1}^{n}\beta_i\alpha_i,$$

где $\alpha_i, \beta_i \in Z_p$, $i = 1\ldots n$. (7)

Лемма 1. $A_n = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – инъективный рюкзачный вектор, где $a_i \in N$, $I = 1\ldots n$. Вектор $A_{n+1} = (a_1, a_2, \ldots, a_n, a_{n+1})$ получен из A_n добавлением компонента $a_{n+1} \in N$, $\Delta A_{n+1} = (\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n, \delta_{n+1})$ – вариация вектора A_{n+1} и $\delta_{n+1} > 0$. Тогда $A_{n+1} = (a_1, a_2, \ldots, a_n, a_{n+1})$ – инъективный рюкзачный вектор.

Доказательство. Покажем, что $\forall\ w_x \in \mu(p, A_{n+1})$ уравнение (1) имеет единственное решение.

Из принадлежности w_x множеству $\mu(p, A_{n+1})$ следует, что $\exists x = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n, \alpha_{n+1}) \in Z_p^{n+1}$, для которого выполняется $w_x = A_{n+1}x^T$.

1. Если $\alpha_{n+1} = 0$, то $w_x \in \mu(p, A_n)$, тогда (1) имеет единственное решение в силу инъективности A_n.

2. Пусть $0 < \alpha_{n+1} < p$. Так как $\delta_{n+1} > 0$, то любой элемент $\mu(p, A_n)$ меньше a_{n+1}. Таким образом, существуют единственные α_{n+1} и $w'_x \in \mu(p, A_n)$ такие, что $w_x = \alpha_{n+1}a_{n+1} + w'_x$, а следовательно, уравнение (1) имеет единственное решение.

Из произвольности $w_x \in \mu(p, A_{n+1})$ следует, что A_{n+1} является инъективным рюкзачным вектором.

Лемма 2. $A_n = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – инъективный возрастающий рюкзачный вектор, где $a_i \in N$, $i = 1\ldots n$. Вектор $A_{n+1} = (a_1, a_2, \ldots, a_n, a_{n+1})$ получен из A_n добавлением компонента $a_{n+1} \in N$, $A_{n+1} = (\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n, \delta_{n+1})$ – вариация вектора A_{n+1} и $\delta_{n+1} < 0$.

Вектор $A_{n+1} = (a_1, a_2, \ldots, a_n, a_{n+1})$ является инъективным возрастающим рюкзачным, если выполняется

$$(a_n - \sum_{j=1}^{n}(p-1)a_j < \delta_{n+1})\ \&\ (|\delta_{n+1}| \notin W_{\mu(2p-1,\,An)}).$$

Доказательство. Прежде всего определим условие, при котором A_{n+1} будет возрастающим. Так как A_n – возрастающий вектор, то необходимо выполнение условия

$$a_n < a_{n+1} = \sum_{j=1}^{n}(p-1)a_j + \delta_{n+1}.$$

Следовательно

$$a_n - \sum_{j=1}^{n}(p-1)a_j < \delta_{n+1}.$$

Пусть $A_{n+1} = (a_1, a_2, \ldots, a_n, a_{n+1})$ является возрастающим, но не является инъективным вектором, т. е. существует $\omega_x \in \mu(p, A_{n+1})$, т. е. уравнение (1) имеет не единственное решение. Из инъективности A_n и свойств последовательностей $W_{\mu(p,\,An)}$ и $W_{\mu(p,\,An+1)}$ следует, что все такие ω_x принадлежат отрезкам $[a_{n+1} + k\ a_{n+1},\ \sum_{j=1}^{n}(p-1)a_j + k\ a_{n+1}]$, где $k = 0\ldots p-2$.

Также если

$$a_{n+1} = \sum_{j=1}^{n}(p-1)a_j + \delta_{n+1} \le \omega_x \le \sum_{j=1}^{n}(p-1)a_j \qquad (8)$$

и для ω_x уравнение (1) имеет более одного решения, то для $\omega_x + k\,a_{n+1}$, где $k = 0\ldots p-2$, уравнение (1) также имеет более одного решения, и наоборот.

На основании вышеизложенного рассмотрим ω_x, удовлетворяющее (8), тогда $\omega_x \in \mu(p, A_n)$ и $\omega_x \in \mu(p, A_{n+1})$.

Из принадлежности ω_x множеству $\mu(p, A_{n+1})$ имеем следующее

$$\omega_x = a_{n+1} + \sum_{j=1}^{n}\beta_j a_j = \left(\sum_{k=1}^{n}(p-1)a_k + \delta_{n+1}\right) + \sum_{j=1}^{n}\beta_j a_j,$$

где $\beta_i \in Z_p$, $I = 1\ldots n$, $0 < \alpha < p-1$.

Из принадлежности ω_x множеству $\mu(p, A_n)$ и справедливости (7) имеем

$$\omega_x = \sum_{j=1}^{n}\gamma_j a_j = \sum_{k=1}^{n}(p-1)a_k - \sum_{j=1}^{n}\varphi_j a_j,\ \text{где } \gamma_i, \varphi_i \in Z_p,\ i = 1\ldots n.$$

Таким образом, имеет место равенство

$$\sum_{k=1}^{n}(p-1)a_k - \sum_{j=1}^{n}\varphi_j a_j = \sum_{k=1}^{n}(p-1)a_k + \delta_{n+1} + \sum_{j=1}^{n}\beta_j a_j -$$

$$-\delta_{n+1} = \sum_{j=1}^{n}(\beta_j + \varphi_j)a_j.$$

Из последнего равенства следует $-\delta_{n+1} \in W_{\mu(2p-1,\,An)}$. Следовательно, для инъективности A_{n+1} необходимо $|\delta_{n+1}| \notin W_{\mu(2p-1,\,An)}$.

На множестве $\mu(p, A)$ рюкзачного вектора $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ определим операцию сложения $\oplus$ следующим образом:

$$\forall w_1, w_2 \in \mu(p, A)\ w = w_1 \oplus w_2 =$$

$$= \sum_{i=1}^{n}\alpha_i a_i \oplus \sum_{i=1}^{n}\beta_i a_i = \sum_{i=1}^{n}\gamma_i a_i, \qquad (9)$$

где $\gamma_i = (\alpha_i + \beta_i) \bmod p$; $\alpha_i, \beta_i \in Z_p$, $i = 1\ldots n$.

Множество $\mu(p, A)$ с операцией сложения $\oplus$ образует аддитивную конечную абелевую группу $(\mu(p, A), \oplus)$.

Определение. Два рюкзачных вектора $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ и $B = (b_1, b_2, \ldots, b_k)$ – векторы вариаций ΔA и ΔB которых отличаются только значением первого компонента, являются изоморфными, будем обозначать $A \approx B$, если существует изоморфизм f: $\mu(p, A) \to \mu(p, B)$.

Два рюкзачных вектора могут быть изоморфными только тогда, когда они имеют одинаковую размерность и $|\mu(p, A)| = |\mu(p, B)|$.

Рассмотрим два изоморфных рюкзачных вектора $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ и $B = (b_1, b_2, \ldots, b_k)$. Из (4) имеем

$$a_1 = \delta_1,\ a_i = \delta_i + (p-1)\sum_{j=1}^{i-1}p^{i-j-1}\delta_j,$$

$$b_1 = \delta'_1,\ b_i = \delta_i + (p-1)\left(p^{i-2}\delta'_1 + \sum_{j=2}^{i-1}p^{i-j-1}\delta_j\right),\ i = 2\ldots n.$$

Назовем коэффициентом изоморфизма двух векторов A и B значение $\varepsilon(A, B) = \delta'_1 - \delta_1$.

Тогда

$$b_1 = \delta_1 + \varepsilon,\ b_i = \delta_i + (p-1)\left(p^{i-2}\varepsilon + \sum_{j=1}^{i-1}p^{i-j-1}\delta_j\right),$$

$$b_1 = a_1 + \varepsilon,\ b_i = a_i + (p-1)p^{i-2}\varepsilon,\ i = 2\ldots n,\ \varepsilon = \varepsilon(A, B) \quad (10)$$

и справедливо соотношение

$$\sum_{i=1}^{j-1}(p-1)b_i = (p-1)(a_1 + \varepsilon) + \sum_{i=2}^{j-1}(p-1)(a_i + (p-1)p^{i-2}\varepsilon) =$$

$$\sum_{i=1}^{j-1}(p-1)a_i + (p-1)\varepsilon(1 + \sum_{i=2}^{j-1}p^{i-2}) =$$

$$= \sum_{i=1}^{j-1}(p-1)a_i + (p-1)\varepsilon p^{j-2}. \qquad (11)$$

На основании свойств последовательностей $W_{\mu(p,\,A)}$ и $W_{\mu(p,\,B)}$ можно сделать вывод, что $W_{\mu(p,\,B)}$ получается из $W_{\mu(p,\,A)}$ «рекурсивным масштабированием» на е относительно «узловых» значений $(a_2, \ldots, a_n)$, а каждое значение a_i

смещается согласно (10). А последовательность $\Delta W_{\mu(p,B)}$ получается из $\Delta W_{\mu(p,A)}$ заменой всех вхождений δ_1 на $\delta_1+\varepsilon$.

Если для рюкзачных векторов $A=(a_1, a_2, \ldots, a_n)$, $B=(b_1, b_2, \ldots, b_n)$ и $C=(c_1, c_2, \ldots, c_n)$ выполняется $A \approx B$ и $B \approx C$, то $A \approx C$. Действительно, в силу биекции f: $\mu(p, A)\to\mu(p, B)$ и g: $\mu(p, B)\to\mu(p, C)$ следует, что $h=g°f$: $\mu(p, A)\to \mu(p, C)$ – биективна и $\varepsilon(A, C)=\varepsilon(A, B)+\varepsilon(B, C)$.

Изоморфизм рюкзачных векторов является отношением эквивалентности, а следовательно, множество изоморфных векторов образует класс эквивалентности. В каждом классе существует вектор, для которого коэффициент изоморфизма с любым другим вектором этого класса неотрицательный; назовем такой вектор базовым вектором класса эквивалентности.

Пусть $\Theta=(\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_n)$ – базовый вектор некоторого класса эквивалентности и $A=(a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – произвольный элемент этого же класса, т. е. $\Theta \approx A$, $\varepsilon(\Theta, A)>0$. Так как $|\mu(p, A)|=|\mu(p, \Theta)|$, то из определения плотности рюкзачного вектора в Z_p имеем следующее:

$$|\mu(p, A)|=d_p(A)\sum_{i=1}^{n}(p-1)a_i=d_p(\Theta)\sum_{i=1}^{n}(p-1)\theta_i=|\mu(p, \Theta)|.$$

В силу (11) выполняется следующее:

$$d_p(A)\sum_{i=1}^{n}(p-1)a_i=d_p(A)\left(\sum_{i=1}^{n}(p-1)\theta_i+\varepsilon(p-1)p^{n-2}\right)=$$

$$=d_p(\Theta)\sum_{i=1}^{n}(p-1)\theta_i.$$

Из последнего выразим $d_p(\Theta)$:

$$d_p(\Theta)=d(A)\left(1+\frac{\varepsilon p^{n-2}}{\sum_{i=1}^{n}\theta_i}\right), \text{здесь } \varepsilon=\varepsilon(\Theta, A);$$

$$d_p(\Theta)=d_p(A))1+k\,\varepsilon(\Theta, A)), \text{ где } k=\frac{p^{n-2}}{\sum_{i=1}^{n}\theta_i}=\text{cont.} \quad (12)$$

Таким образом, базовый вектор имеет наибольшую плотность среди всех векторов его класса эквивалентности.

В случае если базовый вектор Θ является сверхрастущим, то вектор A также является сверхрастущим. Действительно, из (2) и (10) имеем

$$\sum_{i=1}^{j-1}(p-1)a_i=(p-1)(\theta_1+\varepsilon)+$$

$$+\sum_{i=2}^{j-1}(p-1)(\theta_i+(p-1)p^{i-2}\varepsilon)=$$

$$=\sum_{i=1}^{j-1}(p-1)\theta_i+(p-1)\varepsilon(1+\sum_{i=2}^{j-1}p^{i-2})<$$

$$<\theta_j+(p-1)\varepsilon p^{j-2}=a_j,\ \varepsilon=\varepsilon(\Theta, A).$$

Из последнего неравенства следует, что для любого класса эквивалентности с базовым сверхрастущим вектором существует рюкзачный вектор из данного класса для любого положительного коэффициента изоморфизма. В общем случае данное утверждение неверно. Например, для инъективного вектора (15, 42, 51, 83) не существует изоморфного вектора в Z_2 с коэффициентом изоморфизма равным 10, так как вектор (25, 52, 71, 123) не является инъективным.

Таким образом, РСЗИ с рюкзачным вектором A, можно преобразовать к эквивалентной РСЗИ с рюкзачным вектором Θ, где Θ – базовый вектор класса эквивалентности вектора A. Целесообразность данного преобразования обусловливается меньшим объемом вычислений (p, Θ) и затрат памяти. Например, для хранения каждого элемента $\mu(2, A)$ сверхрастущего рюкзачного вектора $A=(45, 69, 218, 415, 796, 1752, 3588, 7375, 17897, 36073)$ необходимо 17 бит памяти, а для хранения соответствующих значений базового вектора $\Theta=(1, 25, 130, 239, 444, 1048, 2180, 4559, 12265, 24809)$ достаточно выделить по 16 бит. При больших значениях компонентов рюкзачного вектора и соответствующей размерности, объем памяти требуемой для хранения элементов $\mu(p, A)$ может превысить размеры стандартных типов языков программирования, а следовательно, потребует дополнительных процедур по хранению и выполнению операций над такими «большими» числами, что, естественно, влечет увеличение затрат по времени и памяти. В частности, для вышеуказанного примера, для хранения значений $\mu(2, B)$ сверхрастущего вектора $B=(444444444, 444444468, 888889016, 1777778011, 3555555988, 7111112136, 14222224356, 28444448911, 56888900969, 11377780227)$, принадлежащему этому же классу эквивалентности необходимо выделять уже по 38 бит.

Теорема. Пусть $A=(a_1, a_2, \ldots, a_n)$ – инъективный рюкзачный вектор размерности n и $t\neq 0$ – целое число. Тогда не существует инъективного рюкзачного вектора размерности n, посредством компонентов которого в Z_p выражаются все элементы множества $\{w+t|w\in\mu(p, A)\}$.

Доказательство. Предположим, что существует инъективный рюкзачный вектор $B=(b_1, b_2, \ldots, b_n)$, т. е. $\{w+t|w\in\mu(p, A)\}\subseteq\mu(p, B)$:

1. $t>0$. Тогда $|\mu(p, B)|i|\mu(p, A)|+1$, так как ноль входит в $\mu(p, B)$, но не входит в $\{w+t\mid w\in\mu(p, A)\}$. Но в силу инъективности векторов A и B выполняется $|\mu(p, B)|=|\mu(p, A)|$. Противоречие.

2. $t<0$. Так как $0\in\mu(p, A)$, то $t\in\mu(p, B)$, что противоречит $b_i\in N$, $i=1, \ldots, n$.

Таким образом, модификация РСЗИ путем изменения числового значение криптотекста на некоторую величину приводит к увеличению сложности ее криптоанализа.

Определение. Два рюкзачных вектора $A=(a_1, a_2, \ldots, a_n)$ и $B=(b_1, b_2, \ldots, b_n)$ подобны, будем обозначать $A\cong B$, тогда и только тогда, когда существует взаимно однозначное отображение f: $A\to B$ такое, что:

1) $\forall a\in A\, f(Ca)=Cf(a)$, где $C\in Z$;

2) $\forall a', a''\in A$ выполняется $f(a'+a')=f(a')+f(a'')$.

Примером двух подобных рюкзачных векторов могут служить два вектора, один из которых получен из другого сильным модульным умножением.

Исследуем свойства двух подобных инъективных рюкзачных векторов $A=(a_1, a_2, \ldots, a_n)$ и $B=(b_1, b_2, \ldots, b_n)$, отображение которых определяется функцией $f(x)=cx$ в некотором поле, где c – некоторая константа:

$$F(a_i)=ca_i=b_i,\ i=1\ldots n,$$

$$\forall w_a\in\mu(p, A)\, f(w_a)=f(\sum_{i=1}^{n}\alpha_i a_i)=$$

$$=\sum_{i=1}^{n}\alpha_i f(a_i)=\sum_{i=1}^{n}\alpha_i(ca_i)=\sum_{i=1}^{n}\alpha_i b_i.$$

Плотности таких векторов связаны соотношением

$$d_p(B)=\frac{|\mu_p(B)|}{\sum_{i=1}^{n}(p-1)b_i}=\frac{|\mu_p(A)|}{\sum_{i=1}^{n}(p-1)ca_i}=\frac{|\mu_p(A)|}{c\left(\sum_{i=1}^{n}(p-1)a_i\right)},$$

$$d_p(A)=cd_p(B). \qquad (13)$$

Последовательности $W_{\mu(p,A)}$ и $W_{\mu(p,B)}$ обладают свойствами, определенными соотношением (10). Элементы последовательностей $\Delta W_{\mu(p,A)}$ и $\Delta W_{\mu(p,B)}$ связаны следующим образом:

$$m_i = ch_i,\ i = 1...n, \text{ где } m_i \in \Delta W_{\mu(p,B)},\ h_i \in \Delta W_{\mu(p,A)}.$$

Наиболее известные системы защиты информации с открытым ключом и с рюкзаком на основе секретного ключа [2], в которой в качестве открытого ключа используется вектор, полученный из рюкзачного вектора сильным модульным умножением на значения секретного ключа. Криптоанализ таких систем возможен аналитическими или статистическими методами либо посредством анализа открытого ключа.

Аналитические методы основаны на методах решений уравнения (1) на основе известных значений из $\mu(p, A)$. Применимость данных методов основана на объемах проводимых вычислений. Верхняя граница числа решений (1) приведена в [3] и в общем случае является NP-полной задачей.

Статистические методы основаны на статистических характеристиках элементов естественного языка или другого языка исходного текста и статистике элементов криптотекста. Основной целью таких методов является не нахождение рюкзачного вектора, а нахождение взаимно однозначного соответствия между элементами исходного и шифрованного текста. Они применимы только при наличии статистических объемов криптотекстов.

Методы криптоанализа открытого ключа заключаются в восстановлении рюкзачного вектора РСЗИ по вектору открытого ключа. В частности, для двух сверхрастущих рюкзачных векторов, полученных один из другого посредством сильного модульного умножения, А. Шамиром предложен алгоритм нахождения рюкзачного вектора A РСЗИ, если известен вектор B [2].

На основе вышеописанных свойств рюкзачных векторов можно сформулировать следующие выводы:

– криптоанализ РСЗИ можно проводить не только на основе статистики значений элементов криптотекстов, но и на распределении значений. В силу того, что вероятность появлений последовательностей элементов $\Delta W_{\mu(p,A)}$ рюкзачного вектора $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ в Z_p есть величина постоянная для заданной размерности n, то таблица вероятностей рассчитывается на этапе предварительной подготовки криптоанализа. Анализ криптотекстов проводится на основе разностей между парами значений его элементов. В этом случае существенным является не объем известных криптотекстов, а количество различных значений его элементов. Построение инъективного рюкзачного вектора базируется на основе свойств $W_{\mu(p,A)}$ и Лемме 1;

– применимость статистических методов анализа криптотекстов базируется на его объеме. Поэтому при малых объемах такой информации данные методы практически не применимы. Модификация РСЗИ с одним рюкзачным вектором в систему с динамически генерируемыми рюкзачными векторами [4; 5] приводит к практической неприменимости статистических методов анализа криптотекстов;

– для повышения криптостойкости классических систем защиты информации с открытым ключом и с рюкзаком необходимо использовать неизоморфные и неподобные рюкзачные векторы, а также изменять значения выходов блока шифрования РСЗИ на значение некоторой константы. Например, видоизменив классическую систему защиты информации с открытым ключом и с рюкзаком на основе секретного ключа (m, t) [2], можно существенно повысить криптостойкость системы.

Рассмотрим простой пример. Пусть $A = (2, 5, 6)$ – инъективный возрастающий рюкзачный вектор, перед определением открытого ключа – вектора B, применим функцию $f(x) = x^2 - x$ к элементам вектора A и, учитывая, что $f(2) = 2, f(5) = 20, f(6) = 30$, получим $A' = (2, 20, 30)$. Используя пару $m = 220$ и $t = 17$ как секретный ключ [1],сильным модульным умножением [1] получим открытый ключ $B = (34, 120, 70)$. Криптоанализ вектора B согласно алгоритма А. Шамира может привести только к получению сверхрастущего вектора A' [2], в котором шифротекст $w = 7$ недопустим. Таким образом, использование в качестве секретного ключа $(m, t, f(x))$ приводит к тому, что известные методы анализа системы защиты информации с открытым ключом, в частности, использующие сильное модульное умножение, не применимы или требуют дополнительных затрат по поиску преобразования $f(x)$.

Библиографические ссылки

1. Осипян В. О. Разработка методов построения систем передачи и защиты информации. Краснодар, 2004.

2. Саломаа А. Криптография с открытым ключом. М. : Мир, 1995.

3. Подколзин В. В., Осипян В. О. Верхняя граница числа решений обобщенной задачи о рюкзаке на заданном входе // Актуальные проблемы безопасности информационных технологий : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / под общей ред. О. Н. Жданова, В. В. Золотарева ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. С. 30–33.

4. Подколзин В. В. Модель системы защиты информации с открытым ключом на основе динамической генерации рюкзачного вектора. М. : ОПиПМ, 2009. Т. 16. Вып. 5. С. 913–914.

5. Подколзин В. В., Осипян В. О. Об одной модификации задачи защиты информации с открытым ключом на основе обобщенного рюкзака входе. М. : ОПиПМ, 2009. Т. 16. Вып. 5. С. 905.

V. V. Podkolzin, V. O. Osipyan

ABOUT PROPERTIES OF KNAPSACK SYSTEMS OF INFORMATION PROTECTION WITH THE PUBLIC KEY IN Z_P

Properties of sequences of numbers expressed through components of a knapsack vector are investigated. Properties of isomorphic and similar knapsack systems of protection of the information are analyzed. Methods of increase of cryptographic complexity of knapsack systems of information protection with public key are given.

Keywords: knapsack vector, isomorphism, crypto analysis, density, injectivity

© Подколзин В. В., Осипян В. О., 2010

УДК 587/588:630.52

И. М. Данилин, А. И. Данилин, Д. А. Свищев

ЛАЗЕРНАЯ ЛОКАЦИЯ И ЦИФРОВАЯ АЭРОСЪЕМКА – ПОДСПУТНИКОВЫЙ КОМПОНЕНТ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ, МОНИТОРИНГА И КАДАСТРА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

Обсуждаются подходы и решения в области дистанционного зондирования лесов для целей информационного обеспечения инвентаризации, мониторинга и кадастра лесных земель, с использованием инновационных методов и технологий высокого уровня – лазерной локации, цифровой аэросъемки и спутникового позиционирования.

Ключевые слова: лазерная локация, цифровая аэросъемка, спутниковое позиционирование, инвентаризация, мониторинг, кадастр лесных земель.

В современной практике лесопользования, мониторинга и кадастра получение достоверной и оперативной информации о состоянии и динамике лесных земель является актуальной задачей как с природоресурсной, так и с экологической, природоохранной точек зрения. В решении этой задачи в последние годы во многих странах мира и в России все активнее используется лазерная локация и цифровая аэросъемка, которые представляют собой важнейшую составляющую геоматики – нового интегрального направления развития методов дистанционного зондирования Земли (аэро- и космической съемки), геоинформационных технологий, цифровой фотограмметрии и картографирования, спутникового геопозиционирования и телекоммуникаций. Эти передовые и высокоэффективные методы находят сегодня широкое применение во многих отраслях, являясь, по сути, информационной основой кадастров природных ресурсов, земле- и лесоустройства, экологического мониторинга, систем сбора, обработки, анализа данных и баз знаний, по показателям точности и экономической эффективности превосходят другие методы изучения и измерения параметров земной поверхности и природных систем [1–7].

Современные авиационные лазерно-локационные системы стремительно развиваются и на сегодняшний день имеют частоту сканирования более 200 тыс. импульсов (измерений) в секунду (рис. 1).

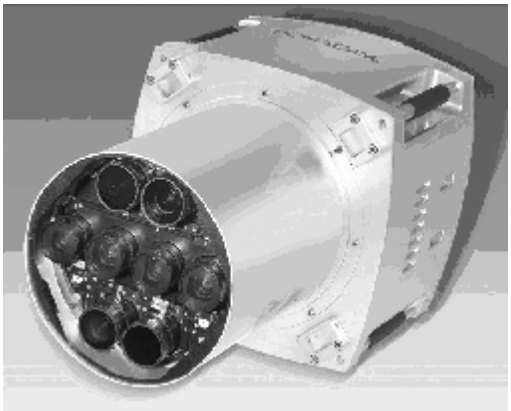
Наибольшая плотность точек сканирования при этом составляет 1 точка на 5–7 см поверхности, а точность измерения геометрических параметров наземных объектов и морфоструктурных элементов растительности в плановой и профильной проекциях составляют порядка ±5…10 см. Точность спутникового позиционирования контуров линий и границ лесных выделов, пробных площадей, отдельных деревьев и морфоструктурных элементов их стволов и крон, в том числе и в подкроновом пространстве, практически не ограничена и определяется техническими характеристиками приборов геопозиционирования [1; 4].

Средствами пространственного и детального отображения контуров и рельефа земной поверхности с представленной на них растительностью и основой для предварительного трассирования маршрутов авиационной лазерной и цифровой аэрофотосъемки могут также являться спутниковые снимки, получаемые в современных оптико-электронных системах Landsat, Ресурс-ДК, Ikonos, OrbView-3, WorldView-2, GeoEye-1 и/или других системах высокого и сверхвысокого разрешения и дешифрированные по основным параметрам и характеристикам растительного покрова [5].

Вместе с тем, структура, объемные показатели деревьев и древостоев, их фитомасса наиболее достоверно и точно определяются по лазерно-локационным данным («лазерным портретам»), интегрированным с цифровыми геотрансформированными аэрофотоснимками на основе цифровой модели местности (ЦММ) и поля распределения лесного полога, которые генерируются из исходных данных лазерной локации способом фильтрации импульсов локатора, отраженных от земной поверх-

ности и растительности, путем интерполяции точек земли, с последующей триангуляцией точек растительности в системах дифференциального спутникового позиционирования GPS, ГЛОНАСС [3; 5].

а



б

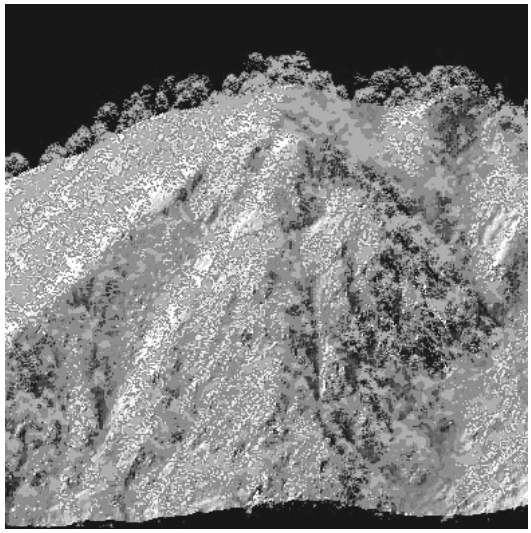
в

Рис. 1. Приборная и технологическая составляющая лазерно-локационного метода: *а* – универсальная аэросъемочная лазерная топографическая система Optech ALTM 3100 – поставляет лазерно-локационные данные. Назначение: ЦММ, ЦМР, выделение контуров, дешифрирование; *б* – крупноформатная цифровая фотограмметрическая аэрофотокамера Vexcel UltraCamXp – поставляет цифровые аэрофотоснимки сверхвысокого (сантиметрового) разрешения. Назначение: традиционное; *в* – система прямого геопозиционирования и ориентации аэросъемочных сенсоров Applanix POSAV – оставляет элементы внешнего ориентирования цифровых аэрофотоснимков и лазерно-локационных данных. Назначение: прямое геопозиционирование (геопривязка)

При обработке и анализе лазерно-локационных данных и цифровых аэрофотоснимков используются методы математической морфологии, оперирующей понятиями теории множеств и нечетких множеств [8].

Цифровая (лазерно-локационная) модель земной поверхности и лесной растительности позволяет получать детальные координаты и морфоструктурные характеристики рельефа местности и лесных насаждений средствами трехмерной компьютерной графики и визуализации с использованием программных продуктов Altexis 2.0, ArcView Spatial & 3D Analyst или другими известными на сегодняшний день программными средствами [5] (рис. 2–4).

В ряде работ, выполненных ранее в России и за рубежом, было показано, что точность оценки древесного запаса и биомассы леса, в том числе методами авиационного зондирования, можно повысить до 5…7 % с использованием морфологической классификации и аллометрических взаимосвязей между размерами деревьев [1; 2; 5–7].



а

б

Рис. 2. Трехмерная визуализация лесной растительности (*а*) и рельефа местности в подкроновом пространстве (*б*) по лазерно-локационным данным

Наши исследования, проведенные в Красноярском крае, показывают, что наиболее адекватно и эффективно

структура элементов земной поверхности и растительного покрова с использованием цифровых моделей местности, получаемых на основе лазерной и цифровой аэросъемки, определяются по характеристикам рядов распределения деревьев по основным морфометрическим признакам – диаметру и высоте, вертикальной и горизонтальной протяженности крон, которые, в свою очередь, взаимосвязаны и тесно коррелированны. При этом объемные и весовые показатели деревьев и древостоев с высокой точностью аппроксимируются аллометрическими функциями через их морфоструктурные признаки [1; 2] (рис. 5, 6; таблица).

Общеизвестно, что построение рядов распределения деревьев по морфометрическим показателям традиционно предполагает выполнение время- и трудоемких наземных биометрических процедур, операций и перечетов (сплошных или выборочных), которые требуют значительных финансовых затрат. Вместе с тем, метод лазерной локации, интегрированный с цифровой аэросъемкой сверхвысокого (сантиметрового) разрешения, позволяет выполнять попиксельную инструментально-измерительную таксацию на основе прецизионной спутниковой

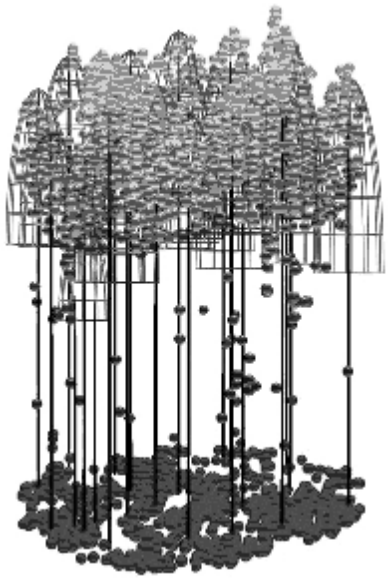


Рис. 4. Цифровая реконструкция морфологической структуры лиственничного древостоя, выполненная по данным лазерной локации

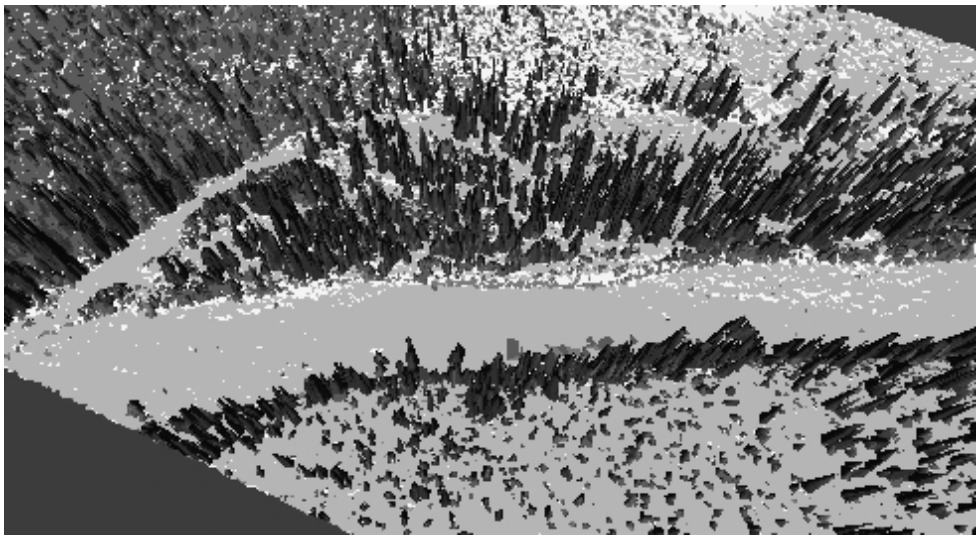


Рис. 3. Цифровая полигональная модель лиственничного насаждения, построенная по данным лазерной локации

Таблица 1

Коэффициенты регрессии морфометрических показателей и фитомассы деревьев лиственницы

Модель аппроксимации	$P = aD^2_{1,3}H$			$P = aD^2_kH$		
Параметры уравнения	a	S	R^2	a	S	R^2
Зависимая переменная						
Надземная часть	0,029	0,505	0,996	0,266	2,122	0,964
Ствол	0,0203	0,055	0,999	0,187	1,750	0,951
Древесина	0,017	0,037	0,999	0,153	1,452	0,950
Кора	0,004	0,008	0,996	0,034	0,307	0,951
Крона	0,008	0,258	0,976	0,079	0,427	0,983
Ветви ∅ > 1 см	0,003	0,068	0,940	0,024	0,217	0,959
Ветви ∅ < 1 см	0,002	0,021	0,969	0,020	0,272	0,892
Побеги текущего года	0,0001	0,000	0,873	0,0001	0,005	0,966
Хвоя	0,003	0,089	0,917	0,024	0,074	0,995
Отмершие ветви	0,001	0,002	0,987	0,009	0,110	0,918

Примечания: P – вес фракции дерева в абсолютно сухом состоянии, кг; $D_{1,3}$ – диаметр ствола на высоте 1,3 м от его основания, см; H – высота дерева, м; D_k – диаметр кроны, м; a – константа уравнения; S – стандартная ошибка уравнения; R^2 – индекс детерминации.

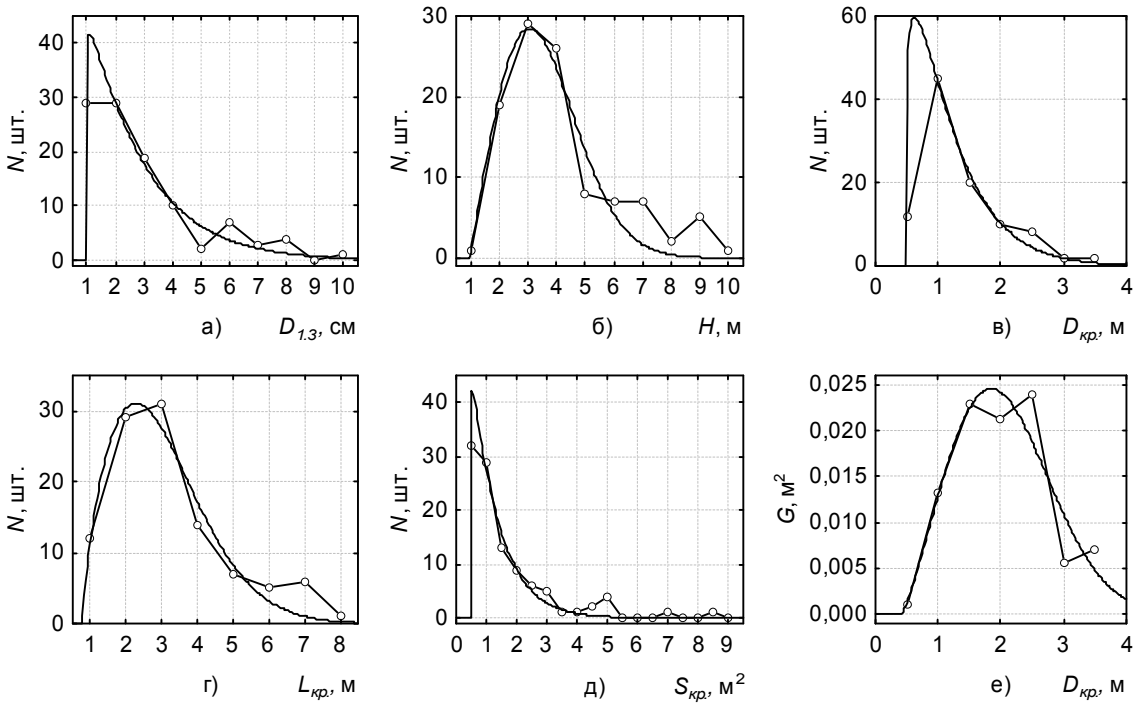


Рис. 5. Распределение деревьев лиственницы (N) по морфометрическим показателям стволов и крон, аппроксимированное функцией Вейбулла: *а* – диаметр ствола на высоте 1,3 м от его основания ($D_{1,3}$, см); *б* – высота дерева (H, м); *в* – диаметр кроны ($D_{кр}$, м); *г* – длина кроны ($L_{кр}$, м); *д* – площадь кроны ($S_{кр}$, м^2); *е* – сумма площадей поперечных сечений стволов на высоте 1,3 м ($Gf(D_{кр}$, м^2))

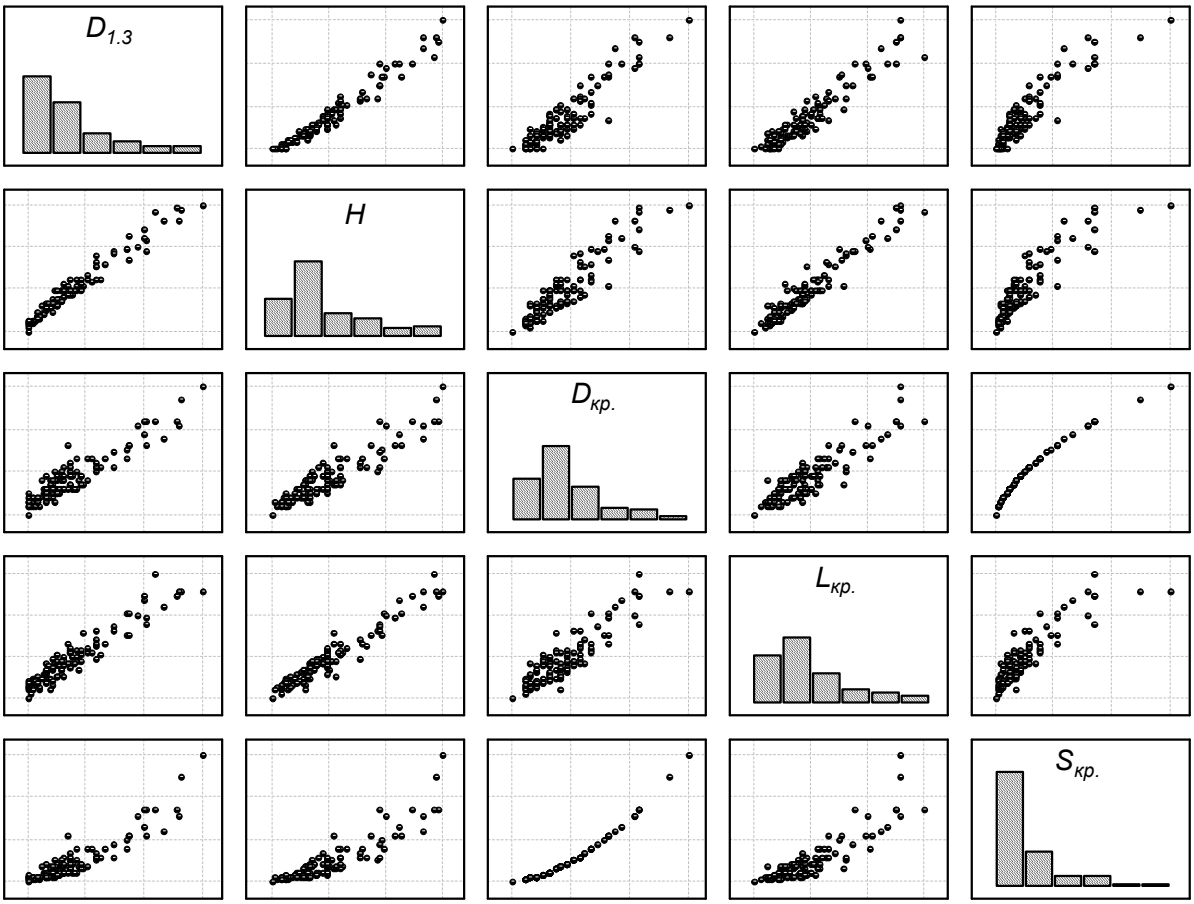


Рис. 6. Совмещенная матрица гистограмм распределения и коррелированных полей рассеяния основных морфометрических показателей лиственничного древостоя (Центральная Эвенкия)

геодезии и детальной топографической съемки, изучать динамику лесного покрова, горизонтальную и вертикальную структуру насаждений, реконструировать ряды распределений деревьев по любому морфоструктурному признаку, вычислять искомые таксационные показатели и фитомассу леса в автоматическом режиме с высокой точностью и на достаточно больших площадях (до 500…600 км^2 за один рабочий день).

Оценка запасов и фитомассы леса по данным лазерной локации и цифровой аэросъемки, в каждом конкретном случае сводится к установлению базовых закономерностей изучаемого объекта и определению соотношений между объемами стволов, высотой и диаметрами стволов и крон деревьев, фитомассой, которые, в свою очередь, составляют 87…99 % объясненной изменчивости различных фракций фитомассы – стволов, скелета крон и хвои [1].

Результаты практической апробации метода авиационной лазерной локации в сочетании с цифровой аэросъемкой и спутниковым геопозиционированием, интегрированных в геоинформационных системах, свидетельствуют о высокой перспективности его использования для целей анализа и моделирования структуры и нарушенности лесного покрова, инвентаризации, оперативного экологического мониторинга, информационного обеспечения кадастра лесных земель и контроля лесопользования. Метод обеспечивает дистанционную оценку состояния и динамики лесных ресурсов с высокой эффективностью при минимуме наземных работ и значительной экономии времени и финансовых средств.

Экономическая эффективность метода обеспечивается принципиальным повышением точности результатов измерений и возможности их повторимости (проверки), а также значительным снижением трудоемкости и сложности выполнения работ (как полевых, так и камеральных дешифровочных) за счет высокого уровня автоматизации получения и обработки данных лазерной и цифровой аэросъемки. Объем полевых работ при этом сводится к минимуму и необходим лишь для калибровки результатов лазерной локации и поддержки интерактивного дешифрирования данных аэросъемки.

Библиографические ссылки

1. Данилин И. М. Морфологическая структура, продуктивность и дистанционные методы таксации древостоев Сибири : автореф. дис. … д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск : Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2003.

2. Высокие технологии XXI века для аэрокосмического мониторинга и таксации лесов. Задачи исследований и перспективы использования / И. М. Данилин [и др.] // Лесная таксация и лесоустройство. 2005. № 1 (34). С. 28–38.

3. Данилин И. М. Лазерное профилирование лесного полога / И. М. Данилин, Т. Сведа // Лесоведение. 2001. № 6. С. 64–69.

4. Медведев Е. М., Григорьев А. В. С лазерным сканированием на вечные времена // Геопрофи. 2003. № 1. С. 5–10.

5. Медведев Е. М., Данилин И. М., Мельников С. Р. Лазерная локация земли и леса : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Геокосмос ; Красноярск : Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007.

6. Holmgren J., Persson E. Identifying species of individual trees using airborne laser scanner // Rem. Sens. Environ. 2004. Vol. 90, № 4. P. 415–423.

7. Laser scanning of forest resources: the Nordic experience / E. Naesset [et al.] // Scand. J. For. Res. 2004. Vol. 19. № 6. P. 482–499.

8. Soille P. Morphological Image Analysis: Principles and Applications. 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, Germany. 2003.

I. M. Danilin, A. I. Danilin, D. I. Svischev

LASER LOCATION AND DIGITAL AERIAL SURVEY – SUBSATELLITE COMPONENT IN THE SYSTEM OF INFORMATION SECURING INVENTORY, MONITORING AND CADASTRE OF FOREST LANDS

Decisions and approaches in the field of forest remote sensing methods for information support for inventory, monitoring and cadastre of forest lands with the use of innovative methods and high-level technologies, namely, laser location, global satellite positioning and digital aerial survey are discussed in the paper.

Keywords: laser location, digital aerial survey, satellite positioning, inventory, monitoring and cadastre of forest lands.

© Данилин И. М., Данилин А. И., Свищев Д. А., 2010

УДК 004.056

В. В. Золотарев, Е. А. Данилова

О ПРИМЕНЕНИИ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ*

Рассматривается возможность применения факторного анализа при оценке состояния защищенности информационных систем. Описывается процедура отбора и классификации факторов, а также расчет влияния факторов на величину результирующего показателя.

Ключевые слова: управление риском, информационный риск, факторный анализ.

Одним из возможных методов анализа защищенности автоматизированных систем является факторный анализ. Этот метод анализа позволяет не только устанавливать причинно-следственные связи между негативными событиями, но и давать им количественную характеристику.

Рассмотрим особенности применения факторной модели оценки защищенности (далее – факторной модели) в задаче оценки защищенности элементов системы электронного документооборота (СЭД). Вместе с тем в предлагаемую модель внесем элементы универсальности, что позволит в общем случае использовать ее для оценки различных элементов как СЭД, так и других автоматизированных систем. Особо отметим применимость предлагаемой модели и решения на ее основе для оценки человеческого фактора.

Описание модели. Пусть существует информационная система *IS*, которая состоит из *N* числа элементов *E*, каждый из которых состоит из *K* составляющих. Составляющая каждого элемента в определенный промежуток времени может принимать *x* состояний *s* с вероятностью *r*:

$$IS = \{E_l\},\ E_i = \begin{Bmatrix} s_1^1 & s_2^1 & \dots & s_{x1}^1 \\ s_1^2 & s_2^2 & \dots & s_{x2}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_1^k & s_2^k & \dots & s_{xk}^k \end{Bmatrix}, \qquad (1)$$

где $l \in [1 \dots N]$.

Назовем *x* количеством степеней свободы элемента. Очевидно, что используя подобную модель системы, можно воспользоваться методом морфологического ящика Цвикки в различных вариантах [1, с. 196]. При этом рассчитать количество причинно-следственных связей между состояниями элементов информационной системы можно рассчитывая их как число размещений с повторениями:

$$k_{\text{сост}} = \left(\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{K} x_{s_{ij}} \right)^m, \qquad (2)$$

где *m* – число взаимных связей между элементами. При этом расчете сделан ряд предположений, о которых необходимо упомянуть, поскольку они потенциально ограничивают область применения модели:

– количество степеней свободы необходимо свести к некоторому единому значению, что предполагает стандартный набор состояний составляющих элемента системы;

– необходимо обеспечить полноту исходного набора степеней свободы каждого составляющего элемента системы, что предполагает определенный подход к выбору показателей, определяющих степени свободы;

– частную функцию полезности приходится рассчитывать для каждого элемента системы обособленно, при этом прибегая к упрощению вычислений;

– необходимо обладать информацией о внутренних связях элементов анализируемой системы; для системы с неполной информацией о внутренних связях такой подход без модификации неприменим.

Рассмотрим базовые элементы применяемой факторной модели:

1. Частная функция пригодности элемента *E* для выполнения основной задачи системы *IS* (далее – частная функция пригодности):

$$u^*(t) = f(E),$$

где

$$E = \begin{pmatrix} r_1^{(1)}(t) & \dots & r_1^{(x)}(t) \\ r_2^{(1)}(t) & \dots & r_2^{(x)}(t) \\ \dots & \dots & \dots \\ r_m^{(1)}(t) & \dots & r_k^{(x)}(t) \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

где $r_i^{(j)}(t) = p_i^{(j)}(t) * w_i^{(j)}(t)$; для *i*-й составляющей в *j*-м состоянии согласно работе [2]; $i \in [1 \dots K]$, $j \in [1 \dots x]$, $p_i^{(j)}(t)$ – характеризует вероятность непригодности составляющей элемента, находящейся в определенной степени свободы в конкретный момент времени для выполнения заданной функции; $w_i^{(j)}(t)$ – вероятность влияния установленных средств защиты на пригодность составляющей элемента, находящейся в определенной степени свободы в конкретный момент времени. В целом $u^*(t)$, следовательно, характеризует способность конкретного элемента противостоять воздействию. Суть же функции $f(E)$ – вычисление усредненного коэффициента, позволяющего использовать значение u^* для оценки защищенности элемента системы в целом, а не его составляющих, характеризуемых значениями $r_i^{(j)}$. Вместе с тем, сохраняя возможность обратной операции разложения на составляющие, можно дополнительно обосновать декомпозицию элемента системы, рассматривая его как набор взаимосвязанных составляющих, что и будет показано далее в примере использования предлагаемой модели.

2. Ориентированный граф $G(V, E)$, представляющий собой модель системы. Вершины – элементы системы –

* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

характеризуются парой $u^*(t)$ и B_e (средней стоимостью средств защиты элемента), а ребра – значением Δu^*, которое показывает соотношение пригодности связанных элементов.

3. Интегральная функция пригодности системы в целом:

$$U(t) = \underset{i=1}{\overset{N}{H}} u^*_i(t), \quad (4)$$

где N – количество исследуемых элементов; $H = \{*, +, \max\}$ – множество операций взаимной связи. Выбор конкретной операции определяется видом взаимной связи (или отсутствием таковой) элементов исследуемой системы [2].

В качестве же целевой функции риска можно использовать соотношение

$$R(t) = U(t)\sum_{i=1}^{N} B_i(t). \quad (5)$$

Таким образом, полезность работы на отрезке времени $[a; b]$ будет равна (согласно функции фон Неймана–Моргенштерна [3]):

$$D = \int_a^b R(t)dt. \quad (6)$$

С учетом формулы (5) для оптимальной конфигурации:

$$\sum_{\tau \subset T} D_\tau \to \min, \quad (7)$$

где T – множество всех анализируемых промежутков времени.

Очевидно, предложенный подход может дополняться критерием связности элементов для выбора оптимальной структуры системы с учетом ранее введенного показателя содержания пар элементов [4]. Рассмотренная факторная модель в совокупности с предложенной функцией пригодности позволяет решать задачу оптимального распределения ресурсов.

Далее рассмотрим отдельные положения предложенного подхода.

Отбор и классификация факторов. Функционирование любой информационной системы происходит в условиях сложного взаимодействия комплекса внутренних и внешних факторов. Фактор – это причина, движущая сила какого-либо процесса или явления, определяющая его характер или одну из основных черт.

Различают множество принципов факторного анализа [5]. Для выполнения поставленной задачи используется детерминированный многофакторный анализ. Чтобы решить задачу учета всего множества факторов, влияющих на информацию, циркулирующую в системе электронного документооборота, предлагается разбить ее на основные составные элементы. При этом для каждого элемента определим возможные состояния, которые он может принимать, затем рассмотрим сочетания этих состояний, создавая базовую модель описания всех возможных частных функций пригодности и моделируя функцию риска в динамике развития системы на основе минимального набора исходных данных.

Используемая модель элемента. Начнем с выделения составляющие элементов системы. Принимая во внимание, что в работе поставлена цель оценки защищенности элементов системы электронного документооборота, структура которой организационно, технически и с помощью функционально-логических моделей может быть относительно легко описана, основной задачей, определяющей эффективности интегральной оценки, становится описание составляющих элемента. Принимая во внимание выражение (2), уточним задачу как разработку удовлетворяющего выбранным условиям морфологического ящика Цвикки. Итак, с учетом определения автоматизированная система (АС) – это система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций [6].

На основании определения можем выделить четыре составляющих каждого элемента АС, а именно: технические средства (ТС), программное обеспечение (ПО), персонал (Ч) и организационные меры обработки и защиты информации (различного типа инструкции, регламенты и приказы) (ОМ).

Пусть, учитывая ограничения модели, способность элемента АС выполнять заданные функции описывается статичным набором состояний:

1. Работоспособное (Р) – состояние составляющей элемента АС, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации и (или) конструкторской (проектной) документации [7].

2. Неработоспособное – состояние составляющей элемента АС, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической документации и (или) конструкторской (проектной) документации. При этом представим неработоспособные состояния составляющих элемента АС в виде трех категорий:

– отказ (Отк) – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния составляющей элемента АС, после возникновения которого составляющая элемента АС перестает функционировать и требует постороннего вмешательства для восстановления нормальной работы;

– сбой (С) – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора [7];

– ошибка (О) – некорректное либо неполное выполнение отдельных задач составляющей элемента АС без потери ее функциональности.

Зададим способ формирования морфологического ящика как исследование сочетаний перечисленного набора состояний составляющих элемента АС. Для проведения оценки защищенности необходимо определить те сочетания, которые могут негативно повлиять на изменение результативного показателя, т. е. на изменение состояния защищенности информационной системы. При этом введем условия для исключения сочетаний, не несущих в себе интерес для дальнейшего исследования (не влияющих на изменение интеграль-

ного показателя риска или частной функции пригодности элемента).

Исключим следующее:

– взаимосвязи между состояниями одной составляющей элемента АС, приняв, что одновременно в конкретный момент времени возможно только одно состояние составляющей элемента АС;

– взаимосвязь между работоспособными состояниями различных групп элементов как не оказывающих негативного влияния на частную функцию полезности элемента.

Учтем зависимость от порождающего состояния элемента АС, определяющую невозможные технически сочетания состояний морфологического ящика:

– изменение состояния организационных мер (ОМ) может быть вызвано только действиями персонала (Ч);

– состояние отказа технического средства может стать причиной отказа в работе персонала и/или программного обеспечения, но не одновременно;

– при состоянии сбоя технического средства программное обеспечение не может находиться в работоспособном состоянии;

– отказ в работе персонала не может стать причиной изменения состояний других элементов АС.

На основании введенных ограничений можно определить все сочетания состояний элементов АС, изменение которых может привести к изменению состояния защищенности АС (рис. 1). Общее число таких связей можно представить, исключив согласно заданным выше условиям некоторые из них.

Итак, в данном случае получаем 128 сочетаний, которыми можно описать все множество воздействий на элемент АС, при этом довольствуясь минимумом исходных данных, каковыми являются интенсивности отказов отдельных составляющих элемента АС. Полнота и достоверность выявленных связей между состояниями элементов АС, воздействующих или которые могут воздействовать на информацию, достигается путем рассмотрения множества состояний всех составляющих элемента АС и, как следствие, всех факторов, воздействующих на все элементы АС на всех этапах обработки информации [2].

Расчет вероятности сочетания состояний. Если нам известны вероятности наступления каждого из состояний для всех составляющих элемента АС $P_{sx}(E_i)$, тогда вероятность наступления связанного события P_s можно представить как совместную, при этом применяя следующее выражение и учитывая формулу (1):

$$P_s = r_{si} r_{sj}, \qquad (8)$$

где $i, j \in [1 \ldots x]$.

При помощи выражения (8) можно рассчитать вероятности возникновения всех 128 связей между состояниями составляющих элемента АС (рис. 1).

Определение зависимостей между состояниями составляющих элемента АС. Связи между состояниями составляющих элемента АС можно представить в виде ориентированного графа *GE*, вершинами которого будут являться состояния составляющих элемента АС s_{Ei}, ребрами – зависимости между ними (рис. 2).

Исследовав зависимости выбранных состояний друг от друга (рис. 2), сформируем частную функцию полезности элемента на основе факторов (усредненных вероятностей наборов состояний, порождаемых конкретной составляющей элемента АС):

$$u^*_{E_i} = F_1 \cap F_2 \cup F_3 \cap F_4 \cup F_5 \cap F_6 \cap F_7 \cup F_8 \cap F_9 \cap F_{10}, \qquad (9)$$

где $u^*_{E_i}$ – частная функция полезности элемента АС; F_1, F_2, …, F_{10} – факторы, влияющие на изменение состояния АС; $\cap$ – символ пересечения – если между факторами есть зависимость; $\cup$ – символ объединения – если между факторами нет явной зависимости.

Используя методы математической логики, выражение (9) можно представить в виде

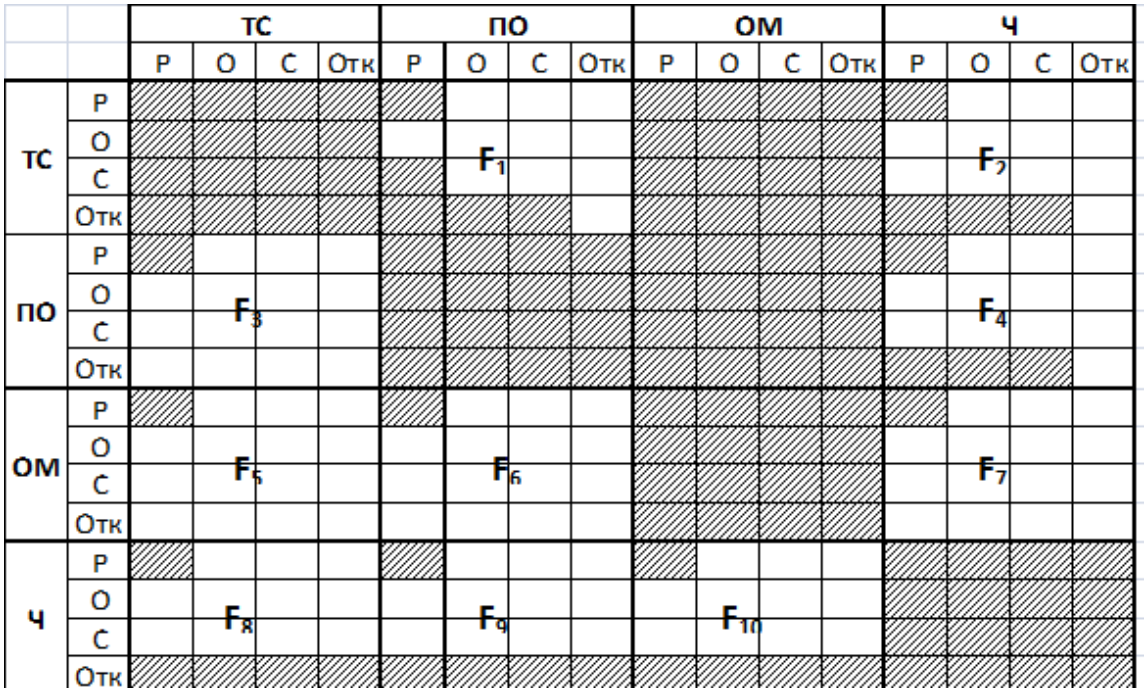


Рис. 1. Морфологический ящик состояний составляющих элемента АС

$$u^*_{E_i} = F_1F_2 + F_3F_4 + F_5F_6F_7 + F_8F_9F_{10}\,. \qquad (10)$$

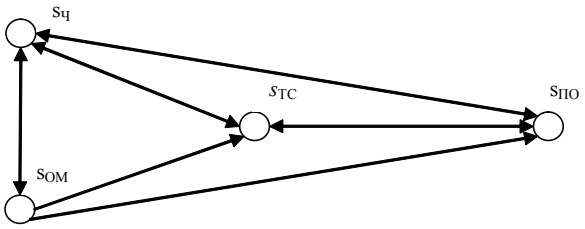


Рис. 2. Граф зависимостей между составляющими элемента информационной системы

Моделирование защищенности элемента исследуемой АС. Для проведения факторного анализа информационных рисков необходимо объект исследования – автоматизированную систему – представить в виде совокупности составляющих элементов. Чем детальнее проработана модель объекта исследования, тем точнее можно определить интегральную функцию полезности, задействуя при этом некоторые стандартные методы теории надежности, например, метод перебора состояний [8]. Однако стоит помнить, что моделирование объекта исследования стоит производить с позиции целостности и системности, исключая избыточные параметры, не дающие полезной информации для осуществления целей анализа. Объект исследования необходимо рассмотреть с точки зрения логической, технической и структурной схем обработки информации в организации. При факторном анализе может использоваться как отдельно каждая их этих схем, так и все в совокупности, что даст более полную информацию для расчета результирующего показателя, т. е. уровня риска каждого элемента исследуемого объекта. При этом уровень риска каждого из элементов исследуемого объекта представляется в разрезе факторных показателей (с возможной декомпозицией до отдельных состояний составляющих элемента АС). На основании этих данных можно сделать вывод не только о том, какой из элементов наиболее уязвим, но и указать конкретную причину, снижающую уровень информационной безопасности.

Численное моделирование изменения защищенности. Используя предлагаемый подход, можно осуществить факторное моделирование и оценку защищенности как отдельных элементов АС, так и интегрированного показателя защищенности и риска для всего объекта исследования. Учитывая выражения (6), (7) и следствия указанных соотношений, можно управлять информационной безопасностью объекта, используя минимум исходных данных.

Для примера рассмотрим численное моделирование уровня защищенности центра коллективного доступа системы электронного документооборота организации (т. е., в терминах модели, элемента автоматизированной системы) (см. таблицу, где в скобках указано конечное состояние после реакции элемента на внедрение предложенных мер защиты, рядом – начальное состояние показателя). Интенсивность отказов бралась за конкретный промежуток времени, оговоренный в процессе проведения анализа и составивший 1 операционный месяц (30 суток); расчет интенсивности выполнялся в пересчете на 1 сутки операционного времени центра коллективного доступа на основании отчетов служб технической поддержки организации.

Очевидно, применяемые в данном случае методы обеспечения информационной безопасности элемента системы электронного документооборота не оказали значимого воздействия на систему электронного документооборота в целом, хотя предварительно оценивались руководством организации (исходя из влияния на конкретные составляющие элементов системы) как эффективные. Как видно из примера, предложенный подход позволяет указать на комплексные проблемы элемента системы электронного документооборота, но не позволяет предсказать резкие изменения и единичные нарушения безопасности объекта исследования. Вместе с тем ценность предлагаемого подхода для оперативных, краткосрочных задач управления информационной безопасностью очевидна, как, впрочем, и для моделирования систем защиты без учета влияния нарушителя информационной безопасности (предварительный расчет и выбор оптимальных по стоимости конфигураций средств защиты).

Пример численного моделирования защищенности элемента АС

S_x	P_{sx}	F_1	F_2		u^*
Р(ТС)	0,84(0,94)	0,0328 (0,302)	0,0567 (0,512)		0,0038 (0,0030)
О(ТС)	0,06(0,03)				
С(ТС)	0,1 (0)				
Отк(ТС)	0 (0,03)				
		F_3	F_4		
Р(ПО)	0,68(0,79)	0,0286 (0,0224)	0,0595 (0,0560)		
О(ПО)	0,23(0,09)				
С(ПО)	0,06(0,09)				
Отк(ПО)	0,03(0,03)				
		F_5	F_6	F_7	
Р(ОМ)	0,91(0,97)	0,0157 (0,0123)	0,0254 (0,0227)	0,0436 (0,0421)	
О(ОМ)	0,06(0,03)				
С(ОМ)	0 (0)				
Отк(ОМ)	0,03 (0)				
		F_8	F_9	F_{10}	
Р(Ч)	0,38(0,51)	0,0564 (0,0520)	0,0620 (0,0594)	0,0540 (0,0487)	
О(Ч)	0,5 (0,4)				
С(Ч)	0,06(0,09)				
Отк(Ч)	0,06 (0)				

С помощью предложенного подхода можно учитывать причинно-следственные связи процессов обработки информации, влияющие на уровень защищенности информационных ресурсов. Использование факторного анализа является шагом к получению объективных количественных результатов в процессе управления информационной безопасности.

Библиографические ссылки

1. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ : учебник для вузов. М. : Изд-во «Юрайт», 2010.

2. Применение факторного анализа и эволюционного алгоритма оптимизации для решения задачи управления информационными рисками систем электронного документооборота / В. Г. Жуков [и др.] // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 3(37). С. 41–50.

3. Беллман Р. Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. М. : Наука, 1969.

4. Антамошкин А. Н., Золотарев В. В. Алгоритм расчета прогнозируемого трафика при проектировании распределенных систем обработки и хранения информации // Вестник СибГАУ. 2006. № 1. С. 5–10.

5. Сафонов А. А. Теория экономического анализа : учеб. пособие / под ред. Л. В. Моисеевой. Владивосток : Изд-во Владивост. гос. ун-та экономики и сервиса.

6. ГОСТ 34.003–90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 1990.

7. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 1989.

8. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. 2-е изд., перераб. и доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2006.

V. V. Zolotarev, E. A. Danilova

ABOUT APPLICATION OF THE FACTORIAL ANALYSIS IN PROBLEMS OF THE AUTOMATED SYSTEMS ELEMENTS SECURITY ESTIMATION

This article considers a possibility of application of the factorial analysis in estimation of information systems security condition. A procedure of selection and classification of factors is described and calculation of influence of factors on size of result indicator is given here as well.

Keywords: risk management, information security risk, factorial analysis.

© Золотарев В. В., Данилова Е. А., 2010

УДК 534.121.1

А. В. Лопатин, П. О. Деев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ СО СВОБОДНЫМ КРАЕМ[1]

Решена задача определения основной частоты колебаний трехслойной пластины, у которой три края жестко закреплены, а один край свободен. Вариационные уравнения движения пластины были получены с помощью принципа Гамильтона. Решение этих уравнений было выполнено методом Канторовича и обобщенным методом Галеркина.

Ключевые слова: трехслойная пластина, частота колебаний, обобщенный метод Галеркина.

Исследование изгибных колебаний трехслойных пластин является важным этапом их проектирования. Трехслойные пластины, совершающие изгибные колебания, обладают самыми разнообразными способами закрепления краев. К настоящему времени большинство решений задач об определении частот колебаний трехслойных пластин получены для случая, когда все четыре края шарнирно закреплены. Большой практический интерес представляет задача динамического анализа трехслойной пластины, в которой один из ее краев свободен, а три других жестко закреплены. Для трехслойных пластин рассматриваемая задача не имеет до настоящего времени своего решения. Такая ситуация обусловлена трудностями выбора функций, аппроксимирующих форму пластины в рамках моделей, учитывающих особенности движения трехслойной структуры. Вместе с тем из общей задачи

[1] Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.».

определения спектра частот колебаний трехслойной пластины можно выделить одну частную задачу, решение которой можно получить в компактном виде. Речь идет о задаче вычисления основной частоты колебаний трехслойной пластины с рассматриваемыми граничными условиями. В настоящей статье решена задача определения основной частоты колебаний трехслойной пластины со свободным краем, которая состоит из двух одинаковых композитных несущих слоев и ортотропного заполнителя. Вариационные уравнения движения пластины были получены с помощью принципа Гамильтона. Решение этих уравнений было выполнено методом Канторовича и обобщенным методом Галеркина.

Рассмотрим прямоугольную трехслойную пластину, состоящую из двух одинаковых композитных слоев и ортотропного заполнителя. Отнесем срединную плоскость пластины к декартовым координатам xy. Размеры пластины по осям x и y обозначим a и b соответственно. Край пластины при $y = b$ свободен, а остальные три края ($y = 0$, $x = 0$, $x = a$) жестко закреплены.

Получим вариационное уравнение поперечных колебаний трехслойной пластины. Рассмотрим интеграл действия Гамильтона

$$S = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \mathrm{L}\,\mathrm{d}\tau, \tag{1}$$

где τ – время; $\tau_2 - \tau_1$ – интервал времени, на котором происходит движение пластины; L – функция Лагранжа. Числовые значения функционала S зависят от подынтегральной функции L, которая определяется следующим равенством:

$$L = T - U, \tag{2}$$

где T и U, соответственно, кинетическая энергия и потенциальная энергия изгиба трехслойной пластины, совершающей поперечные колебания. Кинетическая энергия и потенциальная энергия изгиба трехслойной пластины равна [1]:

$$T = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b \left[B_\rho \left(\frac{\partial w}{\partial \tau}\right)^2 + D_\rho \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial \tau}\right)^2 + D_\rho \left(\frac{\partial \theta_y}{\partial \tau}\right)^2 \right] dxdy; \tag{3}$$

$$U = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b \left[\begin{array}{l} D_{11}\left(\dfrac{\partial \theta_x}{\partial x}\right)^2 + 2D_{12}\dfrac{\partial \theta_x}{\partial x}\dfrac{\partial \theta_y}{\partial y} + \\ +D_{22}\left(\dfrac{\partial \theta_y}{\partial y}\right)^2 + D_{33}\left(\dfrac{\partial \theta_x}{\partial x} + \dfrac{\partial \theta_y}{\partial y}\right)^2 + \\ +K_x\left(\theta_x + \dfrac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + K_y\left(\theta_y + \dfrac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \end{array} \right] dxdy, \tag{4}$$

где $w = w(x, y, \tau)$ – прогиб пластины; $\theta_x = \theta_x(x, y, \tau)$, $\theta_y = \theta_y(x, y, \tau)$ – углы поворота нормали к срединной плоскости; D_{11}, D_{12} $(D_{12} = D_{21})$, D_{22}, D_{33} – изгибные жесткости трехслойной пластины; K_x, K_y – сдвиговые жесткости трехслойной пластины; B_ρ – инерциальный параметр; D_ρ – параметр, обусловленный инерцией поворота.

Рассматривая свободные колебания трехслойной пластины, представим прогиб w и углы поворота θ_x, θ_y в следующем виде:

$$w(x, y, \tau) = w(x, y)\sin\omega\tau,$$

$$\theta_x(x, y, \tau) = \theta_x(x, y)\sin\omega\tau,$$

$$\theta_y(x, y, \tau) = \theta_y(x, y)\sin\omega\tau, \tag{5}$$

где ω – круговая частота колебаний; $w(x, y)$, $\theta_x(x, y)$, $\theta_y(x, y)$ – двумерные функции, определяющие форму трехслойной пластины при поперечных колебаниях.

Подставляя уравнения (5) в равенства (3) и (4), получим следующее:

$$T = T_{\max}\cos^2\omega\tau,\ U = U_{\max}\sin^2\omega\tau, \tag{6}$$

где $T_{\max}$ – максимальная кинетическая энергия пластины; $U_{\max}$ – максимальная потенциальная энергия изгиба пластины. Величины $T_{\max}$ и $U_{\max}$ определяются следующими выражениями:

$$T_{\max} = \frac{1}{2}\omega^2\int_0^a\int_0^b \left(B_\rho w^2 + D_\rho \theta_x{}^2 + D_\rho \theta_y{}^2\right) dxdy,$$

$$U_{\max} = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b \left[\begin{array}{l} D_{11}\left(\dfrac{\partial \theta_x}{\partial x}\right)^2 + 2D_{12}\dfrac{\partial \theta_x}{\partial x}\dfrac{\partial \theta_y}{\partial y} + \\ +D_{22}\left(\dfrac{\partial \theta_y}{\partial y}\right)^2 + D_{33}\left(\dfrac{\partial \theta_x}{\partial x} + \dfrac{\partial \theta_y}{\partial y}\right)^2 + \\ +K_x\left(\theta_x + \dfrac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + K_y\left(\theta_y + \dfrac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \end{array} \right] dxdy, \tag{7}$$

где $w = w(x, y)$, $\theta_x = \theta_x(x, y)$, $\theta_y = \theta_y(x, y)$.

Подставляя выражения (2) и (6) в равенство (1), получим

$$S = \int_{\tau_1}^{\tau_1} \left(T_{\max}\cos^2\omega\tau - U_{\max}\sin^2\omega\tau\right)\mathrm{d}\tau. \tag{8}$$

Будем рассматривать движение пластины за один период колебаний. Тогда

$$\tau_2 - \tau_1 = 2\pi/\omega. \tag{9}$$

С учетом соотношения (9) равенство (8) примет следующий вид:

$$S = T_{\max}\int_0^{2\pi/\omega}\cos^2\omega\tau\, d\tau - U_{\max}\int_0^{2\pi/\omega}\sin^2\omega\tau\, d\tau. \tag{10}$$

Выполняя интегрирование по времени, найдем

$$S = \frac{\pi}{\omega}\left(T_{\max} - U_{\max}\right). \tag{11}$$

В соответствии с принципом Гамильтона, интеграл действия (11) для действительного движения трехслойной пластины в промежутке времени $2\pi/\omega$ имеет стационарное значение. Тогда

$$\delta S = 0, \tag{12}$$

где δ – знак вариации.

Принимая во внимание равенство (11), из уравнения (12) будем иметь следующее:

$$\delta\left(T_{\max} - U_{\max}\right) = 0. \tag{13}$$

Подставляя выражение (7) в формулу (13), получим

$$\int_0^a\int_0^b \left[\left(D_{11}\frac{\partial \theta_x}{\partial x} + D_{12}\frac{\partial \theta_y}{\partial y}\right)\delta\left(\frac{\partial \theta_x}{\partial x}\right) + \right.$$

$$+\left(D_{12}\frac{\partial \theta_x}{\partial x} + D_{22}\frac{\partial \theta_y}{\partial y}\right)\delta\left(\frac{\partial \theta_y}{\partial y}\right) +$$

$$+D_{33}\left(\frac{\partial\theta_x}{\partial y}+\frac{\partial\theta_y}{\partial x}\right)\delta\left(\frac{\partial\theta_x}{\partial y}\right)+$$

$$+D_{33}\left(\frac{\partial\theta_x}{\partial y}+\frac{\partial\theta_y}{\partial x}\right)\delta\left(\frac{\partial\theta_y}{\partial x}\right)+K_x\left(\theta_x+\frac{\partial w}{\partial x}\right)\delta\theta_x+$$

$$+K_x\left(\theta_x+\frac{\partial w}{\partial x}\right)\delta\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)+$$

$$+K_y\left(\theta_y+\frac{\partial w}{\partial y}\right)\delta\theta_y+K_y\left(\theta_y+\frac{\partial w}{\partial y}\right)\delta\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)-$$

$$-\omega^2\left(B_\rho w\delta w+D_\rho\theta_x\delta\theta_x+D_\rho\theta_y\delta\theta_y\right)\Big]dxdy=0. \quad (14)$$

Уравнение (14) представляет собой основное вариационное уравнение, которому должны удовлетворять собственные формы действительных поперечных колебаний трехслойной пластины. Получим решение этой задачи с помощью метода Канторовича и обобщенного метода Галеркина [2; 3].

На защемленных краях пластины $x = 0$ и $x = a$ реализуются следующие граничные условия:

$$w=0,\ \theta_x=0,\ \theta_y=0. \quad (15)$$

Метод Канторовича позволяет понизить размерность вариационного уравнения (14), если прогиб w и углы поворота θ_x, θ_y представить в следующем виде:

$$w(x,y)=w(y)U_x(x),$$
$$\theta_x(x,y)=\theta_x(y)V_x(x), \quad (16)$$
$$\theta_y(x,y)=\theta_y(y)V_x(x),$$

где $w(y)$, $\theta_x(y)$, $\theta_y(y)$ – неизвестные функции, аппроксимирующие форму пластины вдоль оси y; $U_x(x)$, $V_x(x)$ – известные функции, аппроксимирующие форму пластины вдоль оси x. Функции $U_x(x)$ и $V_x(x)$ имеют следующий вид:

$$U_x(x)=\frac{x}{a}\left(\frac{x}{a}-1\right)\left[\frac{x}{a}\left(\frac{x}{a}-1\right)-12\gamma_x\right],$$

$$V_x(x)=\frac{x}{a}\left(2\frac{x^2}{a^2}-3\frac{x}{a}+1\right), \quad (17)$$

где

$$\gamma_x=D_{11}/K_xa^2. \quad (18)$$

Безразмерный параметр γ_x характеризует сдвиговую податливость трехслойной пластины в направлении оси x. Из равенств (17) следует, что на краях пластины $x = 0$ и $x = a$ функции U_x и V_x равны нулю. Поэтому выбранная аппроксимация прогиба и углов поворота (16) удовлетворяет граничным условиям (15).

Подставляя выражения (16) в формулу (14) и интегрируя результат по x, получим следующее одномерное вариационное уравнение:

$$\int_0^b\Big\{K_x\left(J_{3x}\theta_x+I_{2x}w\right)\delta w+K_yI_{1x}\left(\theta_y+\frac{dw}{dy}\right)\delta\left(\frac{dw}{dy}\right)+$$

$$+\left[\left(D_{11}J_{2x}+K_xJ_{1x}\right)\theta_x+K_xJ_{3x}w+D_{12}I_{3x}\frac{d\theta_y}{dy}\right]\delta\theta_x+$$

$$+D_{33}\left(J_{1x}\frac{d\theta_x}{dy}+J_{3x}\theta_y\right)\delta\left(\frac{d\theta_x}{dy}\right)+$$

$$+\left[\left(D_{33}I_{2x}+K_yI_{1x}\right)\theta_y+K_yI_{1x}\frac{dw}{dy}+D_{33}J_{3x}\frac{d\theta_x}{dy}\right]\delta\theta_y-$$

$$-\left(D_{12}I_{3x}\theta_x+D_{22}I_{1x}\frac{d\theta_x}{dy}\right)\delta\left(\frac{d\theta_y}{dy}\right)-$$

$$-\omega^2\left(B_\rho I_{1x}w\delta w+D_\rho J_{1x}\theta_x\delta\theta_x+D_\rho I_{1x}\theta_y\delta\theta_y\right)\Big\}dy=0, \quad (19)$$

где $w=w(y)$, $\theta_x=\theta_x(y)$, $\theta_y=\theta_y(y)$.

В уравнении (19)

$$I_{1x}=\int_0^aU_x^2dx,\ I_{2x}=\int_0^a\left(\frac{dU_x}{dx}\right)^2dx,$$

$$I_{3x}=\int_0^aU_x\frac{dV_x}{dx}dx,\ J_{1x}=\int_0^aV_x^2dx,$$

$$J_{2x}=\int_0^a\left(\frac{dV_x}{dx}\right)^2dx,\ J_{3x}=\int_0^aV_x\frac{dU_x}{dx}dx. \quad (20)$$

Подставляя выражения (17) в уравнения (20), получим

$$I_{1x}=\frac{a\gamma_{1x}}{630},\ I_{2x}=\frac{2\gamma_{2x}}{105a},\ I_{3x}=-\frac{\gamma_{3x}}{105}, \quad (21)$$

$$J_{1x}=\frac{a}{210},\ J_{2x}=\frac{1}{5a},\ J_{3x}=\frac{\gamma_{3x}}{105}.$$

где

$$\gamma_{1x}=1+108\gamma_x+3\ 024\gamma_x^2,$$

$$\gamma_{2x}=1+84\gamma_x+2\ 520\gamma_x^2,\ \gamma_{3x}=1+42\gamma_x. \quad (22)$$

Выполним далее операцию варьирования функционала (19). В результате преобразований, учитывая равенства (21), получим следующее:

$$\int_0^b\left(K_xI_{2x}w-K_yI_{1x}\frac{d^2w}{dy^2}+K_xJ_{3x}\theta_x-K_yI_{1x}\frac{d\theta_y}{dy}-B_\rho\omega^2I_{1x}w\right)\times$$

$$\times\delta wdy+\left[K_yI_{1x}\left(\theta_y+\frac{dw}{dy}\right)\delta w\right]_0^b=0;$$

$$\int_0^b\Big[K_xJ_{3x}w+\left(D_{11}J_{2x}+K_xJ_{1x}\right)\theta_x-$$

$$-D_{33}J_{1x}\frac{d^2\theta_x}{dy^2}+\left(D_{12}I_{3x}-D_{33}J_{3x}\right)\frac{d\theta_y}{dy}-$$

$$-D_\rho\omega^2J_{1x}\theta_x\Big]\delta\theta_xdy+\left[D_{33}\left(J_{1x}\frac{d\theta_x}{dy}+J_{3x}\theta_y\right)\delta\theta_x\right]_0^b=0; \quad (23)$$

$$\int_0^b\Big[K_yI_{1x}\frac{dw}{dy}+\left(D_{33}J_{3x}-D_{12}I_{3x}\right)\frac{d\theta_x}{dy}+$$

$$+\left(D_{33}I_{2x}+K_yI_{1x}\right)\theta_y-D_{22}I_{1x}\frac{d^2\theta_y}{dy^2}-$$

$$-D_\rho\omega^2I_{1x}\theta_y\Big]\delta\theta_ydy+\left[\left(D_{12}I_{3x}\theta_x+D_{22}I_{1x}\frac{d\theta_y}{dy}\right)\delta\theta_y\right]_0^b=0.$$

При традиционном подходе к решению задачи об определении основной частоты колебаний трехслойной пластины из соотношений (23) в силу произвольности вариаций δw, $\delta\theta_x$, $\delta\theta_y$ можно получить разрешающие дифференциальные уравнения движения вдоль оси y:

$$K_x I_{2x} w - K_y I_{1x} \frac{d^2 w}{dy^2} + K_x J_{3x} \theta_x -$$

$$-K_y I_{1x} \frac{d\theta_y}{dy} - B_\rho \omega^2 I_{1x} w = 0;$$

$$K_x J_{3x} w + \left(D_{11} J_{2x} + K_x J_{1x}\right)\theta_x -$$

$$-D_{33} J_{1x} \frac{d^2\theta_x}{dy^2} + \left(D_{12} I_{3x} - D_{33} J_{3x}\right)\frac{d\theta_y}{dy} - D_\rho \omega^2 J_{1x}\theta_x = 0; \quad (24)$$

$$K_y I_{1x} \frac{dw}{dy} + (D_{33} J_{3x} - D_{12} I_{3x})\frac{d\theta_x}{dy} +$$

$$+(D_{33} I_{2x} + K_y I_{1x})\theta_y - D_{22} I_{1x} \frac{d^2\theta_y}{dy^2} - D_\rho \omega^2 I_{1x}\theta_y = 0,$$

и естественные граничные условия на краях $y = 0$ и $y = b$:

$$K_y I_{1x}\left(\theta_y + \frac{dw}{dy}\right)\delta w = 0,$$

$$D_{33}\left(J_{1x}\frac{d\theta_x}{dy} + J_{3x}\theta_y\right)\delta\theta_x = 0,$$

$$\left(D_{12} I_{3x}\theta_x + D_{22} I_{1x}\frac{d\theta_y}{dy}\right)\delta\theta_y = 0. \quad (25)$$

Для случая, когда край $y = 0$ жестко закреплен, а край $y = b$ свободен, граничные условия (25) примут вид

$$y = 0,\ \ w = 0,\ \ \theta_x = 0,\ \ \theta_y = 0, \quad (26)$$

$$y = b,\ \ K_y I_{1x}\left(\theta_y + \frac{dw}{dy}\right) = 0,$$

$$D_{33}\left(J_{1x}\frac{d\theta_x}{dy} + J_{3x}\theta_y\right) = 0,$$

$$D_{12} I_{3x}\theta_x + D_{22} I_{1x}\frac{d\theta_y}{dy} = 0. \quad (27)$$

Уравнения (27) означают, что на краю $y = b$ обращаются в ноль перерезывающая сила, крутящий момент и изгибающий момент.

Рассматриваемая задача определения первой частоты колебаний может быть решена с помощью обобщенного метода Галеркина [3]. Для реализации этого метода необходимо воспользоваться уравнениями (23). В соответствии с основной идеей метода Галеркина заменим функции $w(y)$, $\theta_x(y)$ и $\theta_y(y)$ приближенными аналитическими выражениями, которые достоверно аппроксимируют первую форму колебаний трехслойной пластины вдоль оси y. В качестве таких аппроксимирующих функций можно принять функции, полученные при решении задачи об изгибе консольно закрепленной балки под действием постоянной нагрузки [4]. Представим $w(y)$, $\theta_x(y)$, $\theta_y(y)$ в следующем виде:

$$w(y) = FU_y(y),\ \theta_x(y) = T_x U_y(y),$$

$$\theta_y(y) = T_y V_y(y), \quad (28)$$

где F, T_x, T_y – неизвестные числа; $U_y(y)$, $V_y(y)$ – аппроксимирующие функции, определяемые выражениями

$$U_y(y) = \frac{y}{b}\left[\frac{y^3}{b^3} - 4\frac{y^2}{b^2} + 6\frac{y}{b} - 12\gamma_y\left(\frac{y}{b} - 2\right)\right],$$

$$V_y(y) = \frac{y}{b}\left[\frac{y^2}{3b^2} - \frac{y}{b} + 1\right], \quad (29)$$

где

$$\gamma_y = D_{22}/K_y b^2. \quad (30)$$

Безразмерный параметр γ_y характеризует сдвиговую податливость трехслойной пластины в направлении y.

Вариации функций, определяемых равенствами (28), имеют вид

$$\delta w = U_y \delta F,\ \delta\theta_x = U_y \delta T_x,\ \delta\theta_y = V_y \delta T_y. \quad (31)$$

Подставляя равенства (28) и (31) в выражения (23), получим, учитывая произвольность вариаций δF, δT_x и δT_y, разрешающие уравнения обобщенного метода Галеркина:

$$\int_0^b \left[\begin{array}{l}\left(K_x I_{2x} U_y - K_y I_{1x}\dfrac{d^2 U_y}{dy^2}\right)F + \\ +K_x J_{3x} U_y T_x - K_y I_{1x}\dfrac{dV_y}{dy}T_y - B_\rho \omega^2 I_{1x} U_y F\end{array}\right]\times$$

$$\times U_y dy + \left[R(y)\right]_0^b = 0;$$

$$\int_0^b \left\{K_x J_{3x} U_y F + \left[\left(D_{11} J_{2x} + K_x J_{1x}\right)U_y - D_{33} J_{1x}\frac{d^2 U_y}{dy^2}\right]T_x + \right.$$

$$\left. + \left(D_{12} I_{3x} - D_{33} J_{3x}\right)\frac{dV_y}{dy}T_y - D_\rho \omega^2 J_{1x} U_y T_x\right\}\times$$

$$\times U_y dy + \left[R_x(y)\right]_0^b = 0; \quad (32)$$

$$\int_0^b \left\{K_y I_{1x}\frac{dU_y}{dy}F + \left(D_{33} J_{3x} - D_{12} I_{3x}\right)\frac{dU_y}{dy}T_x + \right.$$

$$\left. + \left[\left(D_{33} I_{2x} + K_y I_{1x}\right)V_y - D_{22} I_{1x}\frac{d^2 V_y}{dy^2}\right]T_y - D_\rho \omega^2 I_{1x} V_y\right\}\times$$

$$\times V_y dy + \left[R_y(y)\right]_0^b = 0,$$

где

$$R(y) = K_y I_{1x}\left(V_y T_y + \frac{dU_y}{dy}F\right)U_y,$$

$$R_x(y) = D_{33}\left(J_{1x}\frac{dU_y}{dy}T_x + J_{3x} V_y T_y\right)U_y,$$

$$R_y(y) = \left(D_{12} I_{3x} U_y T_x + D_{22} I_{1x}\frac{dV_y}{dy}T_y\right)V_y. \quad (33)$$

При $y = 0$, $U_y = 0$ и $V_y = 0$. Тогда из равенств (28) следует, что $w(0) = 0$, $\theta_x(0) = 0$, $\theta_y(0) = 0$. Таким образом, выбранная аппроксимация (28) и (29) удовлетворяет граничным условиям (26) на защемленном краю трехслойной пластины. При $y = b$ для функций U_y и V_y и их первых производных справедливы следующие равенства:

$$U_y = 3\left(1 + 4\gamma_y\right),\ V_y = 1/3,$$

$$dU_y/dy = 4/l,\ dV_y/dy = 0. \quad (34)$$

Подставляя равенства (28) при $y = b$ в левые части уравнений (27) и учитывая формулы (34), получим три не равные нулю выражения:

$$K_y I_{1x}\left(\frac{1}{3}T_y + \frac{4}{l}F\right) \neq 0,\ \ D_{33}\left(\frac{4}{l}J_{1x}T_x + \frac{1}{3}J_{3x}T_y\right) \neq 0,$$

$$3D_{12}I_{3x}T_x\left(1+4\gamma_y\right)\neq 0. \qquad (35)$$

Подразумевается, что в общем случае $F\neq 0$, $T_x\neq 0$, $T_y\neq 0$. Из выражений (35) следует, что выбранная аппроксимация (28) и (29) не удовлетворяет традиционным граничным условиям (27) на свободном краю трехслойной пластины. Однако обобщенный метод Галеркина не требует обязательного точного удовлетворения функциями U_y и V_y граничных условий на свободном краю пластины. Уравнения (32) автоматически обеспечивают приближенное выполнение граничных условий при $y=b$.

Величины $\left[R(y)\right]_0^b$, $\left[R_x(y)\right]_0^b$, $\left[R_y(y)\right]_0^b$, входящие в уравнения (32), могут быть представлены в следующем виде:

$$\left[R(y)\right]_0^b=R(b)-R(0),\ \left[R_x(y)\right]_0^b=R_x(b)-R_x(0),$$
$$\left[R_y(y)\right]_0^b=R_y(b)-R_y(0). \qquad (36)$$

Подставляя $y=b$ в уравнения (33) и учитывая, что $U_y=0$ и $V_y=0$, получим $R(0)=0$, $R_x(0)=0$ и $R_y(0)=0$.

Тогда из формул (36) будем иметь:

$$\left[R(y)\right]_0^b=R(b),\ \left[R_x(y)\right]_0^b=R_x(b),$$
$$\left[R_y(y)\right]_0^b=R_y(b). \qquad (37)$$

Выполним в уравнениях (32) операцию интегрирования по y. В результате преобразований, учитывая равенства (37), получим

$$\left(K_xI_{2x}I_{1y}-K_yI_{1x}I_{2y}\right)F+K_xJ_{3x}I_{1y}T_x-$$
$$-K_yI_{1x}I_{3y}T_y-B_\rho\omega^2I_{1x}I_{1y}F+R(b)=0,$$
$$K_xJ_{3x}I_{1y}F+\left[\left(D_{11}J_{2x}+K_xJ_{1x}\right)I_{1y}-D_{33}J_{1x}I_{2y}\right]T_x+$$
$$+\left(D_{12}I_{3x}-D_{33}J_{3x}\right)I_{3y}T_y-D_\rho\omega^2J_{1x}I_{1y}T_y+R_x(b)=0, \qquad (38)$$
$$K_yI_{1x}J_{3y}F+\left(D_{33}J_{3x}-D_{12}I_{3x}\right)J_{3y}T_x+$$
$$+\left[\left(D_{33}I_{2x}+K_yI_{1x}\right)J_{1y}-D_{22}I_{1x}J_{2y}\right]T_y-$$
$$-D_\rho\omega^2I_{1x}J_{1y}T_y+R_y(b)=0,$$

где

$$I_{1y}=\int_0^b U_y^2dy,\ I_{2y}=\int_0^b U_y\frac{d^2U_y}{dy}dy,\ I_{3y}=\int_0^b U_y\frac{dV_y}{dy}dy,$$
$$J_{1y}=\int_0^b V_y^2dy,\ J_{2y}=\int_0^b V_y\frac{d^2V_y}{dy}dy,\ J_{3y}=\int_0^b V_y\frac{dU_y}{dy}dy. \qquad (39)$$

Подставляя выражения (29) в формулы (39), найдем

$$I_{1y}=\frac{8b}{315}\gamma_{1y},\ I_{2y}=-\frac{12}{35b}\gamma_{2y},\ I_{3y}=\frac{\gamma_{3y}}{35},$$
$$J_{1y}=\frac{b}{14},\ J_{2y}=-\frac{1}{5b},\ J_{3y}=\frac{6}{35}\bar{\gamma}_{3y}, \qquad (40)$$

где

$$\gamma_{1y}=91+999\gamma_y+3\ 024\gamma_y^2,\ \gamma_{2y}=-5+28\gamma_y+560\gamma_y^2,$$
$$\gamma_{3y}=5+56\gamma_y,\ \bar{\gamma}_{3y}=5+14\gamma_y. \qquad (41)$$

Определим значения величин $R(b)$, $R_x(b)$, $R_y(b)$, входящих в уравнения (38). Полагая в уравнениях (33) $y=b$ и учитывая равенства (34), будем иметь следующее:

$$R(b)=\frac{12}{b}\left(1+4\gamma_y\right)K_yI_{1x}F+\left(1+4\gamma_y\right)K_yI_{1x}T_y,$$
$$R_x(b)=\frac{12}{b}\left(1+4\gamma_y\right)D_{33}J_{1x}T_x+\left(1+4\gamma_y\right)D_{33}J_{3x}T_y, \qquad (42)$$
$$R_y(b)=\left(1+4\gamma_y\right)D_{12}J_{3x}T_x.$$

Подставляя выражения (42) в уравнения (38), получим однородную систему линейных алгебраических уравнений:

$$\left(K_xI_{2x}I_{1y}-K_xI_{1x}\bar{I}_{2y}\right)F+K_xJ_{3x}I_{1y}T_x-$$
$$-K_yI_{1x}\bar{I}_{2y}T_y-B_\rho\omega^2I_{1x}I_{1y}F=0,$$
$$K_xJ_{3x}I_{1y}F+\left[\left(D_{11}J_{2x}+K_xJ_{1x}\right)I_{1y}-D_{33}J_{1x}\bar{I}_{2y}\right]T_x+$$
$$+\left(D_{12}I_{3x}I_{3y}-D_{33}J_{3x}\bar{I}_{3y}\right)T_y-D_\rho\omega^2J_{1x}I_{1y}T_x=0, \qquad (43)$$
$$K_yI_{1x}J_{3y}F+\left(D_{33}J_{3x}J_{3y}-D_{12}I_{3x}\bar{J}_{3y}\right)T_x+$$
$$+\left[\left(D_{33}I_{2x}+K_yI_{1x}\right)J_{1y}-D_{22}I_{1x}J_{2y}\right]T_y-D_\rho\omega^2I_{1x}J_{1y}T_y=0,$$

где

$$\bar{I}_{2y}=I_{2y}-\frac{12}{b}\left(1+4\gamma_y\right),\ \bar{I}_{3y}=I_{3y}-\left(1+4\gamma_y\right),$$
$$\bar{J}_{3y}=J_{3y}-\left(1+4\gamma_y\right). \qquad (44)$$

Учитывая выражения (40) и (41), преобразуем равенства (44) к виду

$$\bar{I}_{2y}=-\frac{24}{35b}\bar{\gamma}_{2y},\ \bar{I}_{3y}=-J_{3y},\ \bar{J}_{3y}=-I_{3y}, \qquad (45)$$

где

$$\bar{\gamma}_{2y}=15+84\gamma_y+280\gamma_y^2. \qquad (46)$$

Приведем уравнения (43) к уравнениям с безразмерными коэффициентами. Для этого подставим равенства (40), (45) в формулы (43) и затем умножим каждое уравнение на величину $396900ab/\sqrt{D_{11}D_{22}}$. В результате преобразований получим

$$a_{11}F+a_{12}F_x+a_{13}F_y-\eta b_{11}F=0,$$
$$a_{21}F+a_{22}F_x+a_{23}F_y-\eta b_{22}F=0, \qquad (47)$$
$$a_{31}F+a_{32}F_x+a_{33}F_y-\eta b_{33}F=0,$$

где

$$F_x=aT_x,\ F_y=bT_y. \qquad (48)$$

Коэффициенты системы равны

$$a_{11}=48\left(4\alpha\frac{\gamma_{2x}\gamma_{1y}}{\gamma_x}+\frac{9}{\alpha}\frac{\gamma_{1x}\bar{\gamma}_{2y}}{\gamma_y}\right),$$
$$a_{22}=48\left(\alpha\frac{\gamma_{3x}\gamma_{1y}}{\gamma_x}+27\beta_{33}\bar{\gamma}_{2y}\right),$$
$$a_{33}=9\left(\frac{\gamma_{1x}\bar{\gamma}_{3y}}{\alpha\gamma_y}+60\beta_{33}\gamma_{2x}\right),$$
$$a_{12}=a_{21}=96\alpha\frac{\gamma_{3x}\gamma_{1y}}{\gamma_x}, \qquad (49)$$
$$a_{13}=a_{31}=\frac{108}{\alpha}\frac{\gamma_{1x}\bar{\gamma}_{3y}}{\gamma_y},$$
$$a_{23}=a_{32}=108\gamma_{3x}\left(6\beta_{33}\bar{\gamma}_{3y}-\beta_{12}\gamma_{3y}\right),$$
$$b_{11}=16\gamma_{1x}\gamma_{1y},\ b_{22}=48r_x\gamma_{1y},\ b_{33}=45r_y\gamma_{1x}.$$

В равенствах (49) введены следующие обозначения:

$$\alpha = \sqrt{\frac{D_{11}}{D_{22}}}\frac{b^2}{a^2},\ \beta_{12} = \frac{D_{12}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}},\ \beta_{33} = \frac{D_{33}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}, \quad (50)$$

$$r_x = \frac{D_\rho}{B_\rho a^2},\ r_y = \frac{D_\rho}{B_\rho b^2}. \quad (51)$$

Величина η, входящая в уравнения (47) и определяемая равенством

$$\eta = \frac{B_\rho \omega^2 a^2 b^2}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}, \quad (52)$$

является безразмерным частотным параметром.

Таким образом, задача определения основной частоты колебаний рассматриваемой трехслойной пластины сведена к вычислению параметра η, при котором однородная система (47) будет иметь нетривиальное решение. Приравняем к нулю определитель системы (47), т. е.

$$\det\begin{Bmatrix} a_{11}-\eta b_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22}-\eta b_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33}-\eta b_{33} \end{Bmatrix} = 0. \quad (53)$$

Из условия (53), учитывая, что $a_{12} = a_{21}$, $a_{13} = a_{31}$, $a_{23} = a_{32}$, получим характеристический полином третьей степени

$$H_3\eta^3 - H_2\eta^2 + H_1\eta - H_0 = 0, \quad (54)$$

где

$$H_3 = b_{11}b_{22}b_{33},$$
$$H_2 = a_{11}b_{22}b_{33} + a_{22}b_{11}b_{33} + a_{33}b_{11}b_{22},$$
$$H_1 = b_{11}\left(a_{22}a_{33} - a_{23}^2\right) + \quad (55)$$
$$+b_{22}\left(a_{11}a_{33} - a_{13}^2\right) + b_{33}\left(a_{11}a_{22} - a_{12}^2\right),$$
$$H_0 = a_{11}a_{22}a_{33} + 2a_{12}a_{13}a_{23} -$$
$$-a_{13}^2a_{22} - a_{23}^2a_{11} - a_{12}^2a_{33}.$$

Уравнение (54) имеет три вещественных корня. Наименьший из этих корней будет определять требуемый **частотный параметр** η.

Если не учитывать инерцию поворота, то для вычисления параметра η можно получить простую формулу. Пусть $D_\rho = 0$. Тогда из формул (51) следует, что $r_x = 0$ и $r_y = 0$. В этом случае коэффициенты b_{22} и b_{33} обратятся в ноль, и из уравнений (55) будем иметь следующее:

$$H_3 = 0,\ H_2 = 0,\ H_1 = b_{11}\left(a_{22}a_{33} - a_{23}^2\right). \quad (56)$$

Подставляя равенства (56) в уравнение (54), получим

$$\eta = H_0/H_1. \quad (57)$$

Величина частотного параметра з, определяемого из уравнения (54) или с помощью формулы (57), зависит от безразмерных параметров γ_x, γ_y, α, β_{12}, β_{33}, r_x, r_y, которые содержат всю информацию о жесткостных, геометрических и инерциальных характеристиках трехслойной пластины с композитными несущими слоями и ортотропным заполнителем.

При известном частотном параметре η основная частота колебаний трехслойной пластины может быть получена из равенства (52) и представлена в следующем виде:

$$\omega = \frac{\lambda}{ab}\sqrt{\frac{\sqrt{D_{11}D_{22}}}{B_\rho}}, \quad (58)$$

где

$$\lambda = \sqrt{\eta}. \quad (59)$$

Получим формулы для вычисления изгибных жесткостей D_{mn} $(mn = 11, 12, 22, 33)$, сдвиговых жесткостей K_x, K_y и инерциальных параметров B_ρ, D_ρ. Рассмотрим структуру трехслойной пластины. Пусть суммарная толщина несущих слоев равна *t*, а толщина заполнителя равна *h*. Материал несущих слоев характеризуется коэффициентами жесткости $A_{mn}^{(t)}$ $(mn = 11, 12, 22, 33)$, трансверсальными модулями сдвига $G_{xz}^{(t)}$, $G_{yz}^{(t)}$ и плотностью ρ_t. Аналогичные характеристики заполнителя обозначим $A_{mn}^{(h)}$ $(mn = 11, 12, 22, 33)$, $G_{xz}^{(h)}$, $G_{yz}^{(h)}$, ρ_h.

В рамках сдвиговой теории, используемой в настоящей работе для описания движения трехслойной пластины, изгибные и сдвиговые жесткости, а также инерциальные параметры могут быть определены по следующим формулам:

$$D_{mn} = A_{mn}^{(t)}\frac{t^3}{12}\xi_{mn},\ (mn = 11, 12, 22, 33), \quad (60)$$

$$K_x = G_{xz}^{(t)}t\zeta_{xz},\ K_y = G_{yz}^{(t)}t\zeta_{yz}, \quad (61)$$

$$B_\rho = \rho_t t\zeta_\rho,\ D_\rho = \rho_t\frac{t^3}{12}\zeta_\rho, \quad (62)$$

где

$$\xi_{mn} = \xi + \frac{A_{mn}^{(h)}}{A_{mn}^{(t)}}\frac{h^3}{t^3}, \quad (63)$$

$$\xi = 1 + 3\frac{h}{t} + 3\frac{h^2}{t^2}, \quad (64)$$

$$\zeta_{xz} = \left(1+\frac{h}{t}\right)^2\left(1+\frac{h}{t}\frac{G_{xz}^{(t)}}{G_{xz}^{(h)}}\right)^{-1},$$
$$\zeta_{yz} = \left(1+\frac{h}{t}\right)^2\left(1+\frac{h}{t}\frac{G_{yz}^{(t)}}{G_{yz}^{(h)}}\right)^{-1}, \quad (65)$$

$$\zeta_\rho = 1 + \frac{\rho_h}{\rho_t}\frac{h}{t},\ \xi_\rho = \xi + \frac{\rho_h}{\rho_t}\frac{h^3}{t^3}. \quad (66)$$

Получим расчетные формулы для параметров γ_x, γ_y, α, β_{12}, β_{33}, r_x, r_y. Подставляя формулы (60), (61) в выражения (18) и (30), будем иметь следующее:

$$\gamma_x = \frac{1}{12}\frac{A_{11}^{(t)}}{G_{xz}^{(t)}}\left(\frac{t^2}{a^2}\right)\frac{\xi_{11}}{\zeta_{xz}},\ \gamma_y = \frac{1}{12}\frac{A_{22}^{(t)}}{G_{yz}^{(t)}}\left(\frac{t^2}{b^2}\right)\frac{\xi_{22}}{\zeta_{yz}}. \quad (67)$$

Из равенств (50) с учетом соотношения (60) получим

$$\alpha = \sqrt{\frac{A_{11}^{(t)}}{A_{22}^{(t)}}}\sqrt{\frac{\xi_{11}}{\xi_{22}}}\frac{b^2}{a^2},\ \beta_{12} = \frac{A_{12}^{(t)}}{\sqrt{A_{11}^{(t)}A_{22}^{(t)}}}\frac{\xi_{12}}{\sqrt{\xi_{11}\xi_{22}}},$$
$$\beta_{33} = \frac{A_{33}^{(t)}}{\sqrt{A_{11}^{(t)}A_{22}^{(t)}}}\frac{\xi_{33}}{\sqrt{\xi_{11}\xi_{22}}}. \quad (68)$$

Подставляя равенства (62) в формулы (51), найдем

$$r_x = \frac{1}{12}\frac{t^2}{a^2}\frac{\xi_\rho}{\zeta_\rho},\ r_y = \frac{1}{12}\frac{t^2}{b^2}\frac{\xi_\rho}{\zeta_\rho}. \quad (69)$$

Формула для частоты колебаний (58) с учетом равенства (60) и первого из равенств (62) примет следующий вид:

$$\omega = \lambda \frac{t}{ab} \frac{1}{2\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\sqrt{A_{11}^{(t)} A_{22}^{(t)}}}{\rho_t}} \sqrt{\frac{\sqrt{\xi_{11}\xi_{22}}}{\zeta_\rho}}. \qquad (70)$$

В трехслойных пластинах часто используется так называемый легкий заполнитель, обладающий малой жесткостью в плоскости xy. Для такой структуры можно принять $A_{mn}^{(h)} = 0 \ (mn = 11, 12, 22, 33)$. Тогда из формулы (63) следует, что $\xi_{mn} = \xi \ (mn = 11, 12, 22, 33)$. В этом случае равенства (67) и (68) примут следующий вид:

$$\gamma_x = \frac{1}{12} \frac{A_{11}^{(t)}}{G_{xz}^{(t)}} \left(\frac{t^2}{a^2} \right) \frac{\xi}{\zeta_{xz}}, \ \gamma_y = \frac{1}{12} \frac{A_{22}^{(t)}}{G_{yz}^{(t)}} \left(\frac{t^2}{b^2} \right) \frac{\xi}{\zeta_{yz}}, \qquad (71)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{A_{11}^{(t)}}{A_{22}^{(t)}}} \frac{b^2}{a^2}, \ \beta_{12} = \frac{A_{12}^{(t)}}{\sqrt{A_{11}^{(t)} A_{22}^{(t)}}}, \ \beta_{33} = \frac{A_{33}^{(t)}}{\sqrt{A_{11}^{(t)} A_{22}^{(t)}}}. \qquad (72)$$

Параметры r_x и r_y остаются без изменений.

Подставляя в формулу (70) $\xi_{11} = \xi_{22} = \xi$, получим для определения основной частоты колебаний трехслойной пластины с легким заполнителем следующее выражение:

$$\omega = \lambda \frac{t}{ab} \frac{1}{2\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\sqrt{A_{11}^{(t)} A_{22}^{(t)}}}{\rho_t}} \sqrt{\frac{\xi}{\zeta_\rho}}. \qquad (73)$$

Как уже отмечалось, задача определения основной частоты колебаний трехслойной пластины со свободным краем не имеет решения до настоящего времени. Поэтому для верификации полученных в статье формул выполним сравнение вычисленных с их помощью частот с частотами, найденными методом конечных элементов.

Рассмотрим пластину с ортотропными несущими слоями и легким ортотропным заполнителем. Для такой пластины расчетные формулы (72), (71), (69) примут следующий вид:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\overline{E}_x^{(t)}}{\overline{E}_y^{(t)}}} \frac{b^2}{a^2}, \ \beta_{12} = \frac{\overline{E}_x^{(t)} \nu_{xy}^{(t)}}{\sqrt{\overline{E}_x^{(t)} \overline{E}_y^{(t)}}}, \ \beta_{33} = \frac{G_{xy}^{(t)}}{\sqrt{\overline{E}_x^{(t)} \overline{E}_y^{(t)}}},$$

$$\gamma_x = \frac{1}{12} \frac{\overline{E}_x^{(t)}}{G_{xz}^{(t)}} \left(\frac{t^2}{a^2} \right) \frac{\xi}{\zeta_{xz}}, \ \gamma_y = \frac{1}{12} \frac{\overline{E}_y^{(t)}}{G_{yz}^{(t)}} \left(\frac{t^2}{b^2} \right) \frac{\xi}{\zeta_{yz}}, \qquad (74)$$

$$r_x = \frac{1}{12} \frac{t^2}{a^2} \frac{\xi_\rho}{\zeta_\rho}, \ r_y = \frac{1}{12} \frac{t^2}{b^2} \frac{\xi_\rho}{\zeta_\rho}.$$

Выражение для частоты колебаний следует из равенства (73), т. е.

$$\omega = \lambda \frac{t}{ab} \frac{1}{2\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\sqrt{\overline{E}_x^{(t)} \overline{E}_y^{(t)}}}{\rho_t}} \sqrt{\frac{\xi}{\zeta_\rho}}. \qquad (75)$$

Пусть материал несущих слоев обладает следующими параметрами: $E_x^{(t)} = 54{,}551$ ГПа, $E_y^{(t)} = 54{,}551$ ГПа, $G_{xy}^{(t)} = 20{,}668$ ГПа, $\nu_{xy}^{(t)} = 0{,}319\,7$, $\nu_{yx}^{(t)} = 0{,}319\,7$, $G_{xz}^{(t)} = 3{,}779$ ГПа, $G_{yz}^{(t)} = 3{,}779$ ГПа, $\rho_t = 1\,500$ кг/м^3. Материал заполнителя имеет $G_{xz}^{(h)} = 440$ МПа, $G_{yz}^{(h)} = 220$ МПа $\rho_h = 83$ кг/м^3. Пусть размеры пластины в плане принимают следующие значения: $b = 1$ м, $a = 1, 3, 5$ м. Толщина несущих слоев $t = 0{,}001$ м, а толщина заполнителя $h = 0{,}01; 0{,}05; 0{,}1$ м. Для пластины с рассмотренными выше характеристиками найдем частоту колебаний $f = \omega / 2\pi$. Входящий в формулу (75) безразмерный частотный параметр λ (напомним, что $\lambda = \sqrt{\eta}$) определяется из решения уравнения (54). Значения частот, определенных для различных значений a и h, приведены в табл. 1. Далее получим значения основной частоты колебаний рассматриваемой трехслойной пластины с помощью метода конечных элементов. Для этих целей воспользуемся пакетом COSMOS/M [5]. Моделирование трехслойной пластины было выполнено с помощью конечного элемента SHELL4L, который позволяет рассчитывать трехслойные конструкции. Частоты колебаний рассматриваемой трехслойной пластины, найденные методом конечных элементов, приведены в табл. 2. Сравнение данных таблиц позволяет сделать вывод, что разница между частотами, вычисленными разными способами, не превышает 5 %.

Таким образом, решена задача определения основной частоты колебаний трехслойной пластины, три края которой жестко закреплены, а один свободен. Для решения уравнений движения был использован метод Канторовича и обобщенный метод Галеркина. Была выполнена верификация разработанной модели вычисления основной частоты колебаний. Определение основной частоты колебаний трехслойной пластины может быть надежно, без значительных вычислительных усилий выполнено по формулам, предложенным в статье. Полученные формулы окажутся особенно полез-

Таблица 1

Частоты колебаний, вычисленные с учетом инерции поворота

h, м	a, м		
	1	3	5
0,01	102,23	21,771	17,017
0,05	304,381	66,563	52,124
0,10	440,017	99,286	77,931

Таблица 2

Частоты колебаний, вычисленные методом конечных элементов

h, м	a, м		
	1	3	5
0,01	99,759	21,614	16,911
0,05	293,335	65,816	51,694
0,10	420,151	97,888	77,167

ными при проектировании трехслойных пластин, когда ограничения накладываются на основную частоту колебаний.

Библиографические ссылки

1. Vasiliev V. V. Mechanics of composite structures. Taylor & Francis, 1993.

2. Kantorovich L. V., Krylov V. I. Approximate methods of higher analysis. New York : John Wiley & Sons, 1958.

3. Королев В. И. Слоистые анизотропные пластинки и оболочки из армированных пластмасс. М., Машиностроение, 1965.

4. Пратусевич Я. А. Вариационные принципы в строительной механике. М. ; Л. : ОГИЗ, 1948.

5. COSMOS/M : User Guide // Structural Research & Analysis Corporation, 2003.

A. V. Lopatin, P. O. Deev

DETERMINATION OF THE FUNDAMENTAL FREQUENCY FOR RECTANGULAR SANDWICH PLATE WITH FREE EDGE

In the article the problem of determination of the fundamental frequency of sandwich plate with three clamped edges and one free edge is solved. Variation equations of plate dynamics were obtained with the help of Hamilton principle. The equations were solved via Kantorovich method and via generalized Galerkin method.

Keywords: sandwich plate, vibration frequency, generalized Galerkin method.

© Лопатин А. В., Деев П. О., 2010

УДК 519.62

В. А. Нестеров

МАТРИЦА ЖЕСТКОСТИ КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ БАЛКИ С НИЗКОЙ ТАНСВЕРСАЛЬНОЙ СДВИГОВОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

Разработан конечный элемент балки, в расчете которой учитываются трансверсальные сдвиговые деформации. При вариационной реализации метода конечных элементов получена матрица жесткости пространственной балки. В качестве одних из основных узловых кинематических параметров присутствуют углы трансверсального сдвига.

Ключевые слова: балка, метод конечных элементов, трансверсальный сдвиг.

В последние годы все чаще композитные конструкции используются в производстве космической техники. Композиты обладают высокой удельной прочностью и жесткостью, а также способностью к направленному изменению механических свойств в соответствии с назначением и условиями эксплуатации конструкции. В частности, космические антенны представляют собой композитные рамные конструкции балочного типа. Вместе с тем композитные конструкции, в том числе и балки, отличаются рядом особенностей, которые должны быть учтены при проектировании и расчете. Основная среди них – низкая сдвиговая жесткость по отношению к трансверсальным напряжениям. Учет указанной особенности при реализации численного (конечно-элементного) расчета приводит к повышению порядка разрешающих уравнений за счет введения в рассмотрение углов трансверсального сдвига. Это обстоятельство отличает матрицу жесткости, полученную в работе, от традиционных балочных конечных элементов.

Рассмотрим пространственную задачу об изгибе слоистой балки с низкой жесткостью при трансверсальном сдвиге. Для решения воспользуемся вариационным алгоритмом метода конечных элементов. Уравнения равновесия конечного элемента балки получим вариационным методом, для этого выделим элемент длиной l и запишем для него выражение полной потенциальной энергии

$$E = U + \Pi, \tag{1}$$

где U – потенциальная энергия деформации; Π – потенциал внешних сил.

В качестве исходного для U возьмем соответствующее выражение из линейной теории упругости трехмерного тела:

$$U = \frac{1}{2}\iiint_V (\sigma_x e_x + \sigma_y e_y + \sigma_z e_z + \\ + \tau_{xy} e_{xy} + \tau_{yz} e_{yz} + \tau_{xz} e_{xz})\, dxdydz, \quad (2)$$

где V – объем элемента балки; σ_x, σ_y, σ_z – нормальные напряжения; τ_{xy}, τ_{xz}, τ_{yz} – касательные напряжения; e_x, e_y, e_z – линейные деформации вдоль осей системы координат; e_{xy}, e_{xz}, e_{yz} – деформации сдвига в соответствующих плоскостях.

Будем полагать, что главные направления ортотропии материала совпадают с осями локальной системы координат, ось X которой совпадает с продольной осью балки, а две другие (Y и Z) составляют с первой декартову систему.

В этом случае физические соотношения, представляющие собой закон Гука для ортотропного материала, имеют следующий вид:

$$e_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{xy}\frac{\sigma_y}{E_y} - \mu_{xz}\frac{\sigma_z}{E_z}, \quad (3)$$

$$e_y = \frac{\sigma_y}{E_y} - \mu_{yx}\frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{yz}\frac{\sigma_z}{E_z}, \quad (4)$$

$$e_z = \frac{\sigma_z}{E_z} - \mu_{zx}\frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{zy}\frac{\sigma_y}{E_y}, \quad (5)$$

$$e_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}}, \quad (6)$$

$$e_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G_{yz}}, \quad (7)$$

$$e_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G_{xz}}, \quad (8)$$

где $E_{x(y,\,z)}$ – модуль упругости соответствующего направления; $G_{xy\,(yz,\,xz)}$ – модуль сдвига в соответствующей плоскости; μ_{xy}, μ_{yx}, μ_{yz}, μ_{zy}, μ_{xz}, μ_{zx} – коэффициенты Пуассона.

Имеет место свойство симметрии упругих постоянных:

$$E_x\mu_{xy} = E_y\mu_{yx}; \quad E_x\mu_{xz} = E_z\mu_{zx}; \quad E_y\mu_{yz} = E_z\mu_{zy}. \quad (9)$$

Запишем геометрические соотношения линейной теории:

$$e_x = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad (10)$$

$$e_y = \frac{\partial u_y}{\partial y}, \quad (11)$$

$$e_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}, \quad (12)$$

$$e_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}, \quad (13)$$

$$e_{yz} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y}, \quad (14)$$

$$e_{xz} = \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x}, \quad (15)$$

где u_x, u_y, u_z – проекции перемещения произвольной точки на соответствующие оси координат.

Введем в физические соотношения следующие допущения [1]:

$$E_y \to \infty; \quad E_z \to \infty; \quad \mu_{yx} = 0; \quad \mu_{zx} = 0; \quad G_{yz} \to \infty. \quad (16)$$

Тогда вместо выражений (10), (11), (12) и (14), соответственно, получим:

$$e_x = \frac{\sigma_x}{E_x}, \quad (17)$$

$$e_y = 0, \quad (18)$$

$$e_z = 0, \quad (19)$$

$$e_{yz} = 0. \quad (20)$$

С учетом формулы (18) из выражения (11) следует, что перемещения u_y не зависят от координаты y. Аналогично, из выражения (12) с учетом формулы (19) следует, что перемещения u_z не зависят от координаты z:

$$u_y = v(x, z), \quad (21)$$

$$u_z = w(x, y). \quad (22)$$

Согласно гипотезе плоских сечений имеем следующие законы распределения нормальных (к упругой линии балки) перемещений:

$$u_y = v(x) - z\beta, \quad (23)$$

$$u_z = w(x) + y\beta, \quad (24)$$

где $v(x)$ и $w(x)$ – соответственно, перемещения вдоль осей Y и Z точек, лежащих на продольной оси балки X; в – угол поворота сечения относительно оси X.

Согласно той же гипотезе имеем следующий линейный закон распределения по сечению продольных перемещений:

$$u_x = u(x) + y\theta_y(x) + z\theta_z(x), \quad (25)$$

где $u(x)$ – перемещения вдоль оси X точек, лежащих на этой оси; θ_y, θ_z – углы наклона сечения к соответствующим координатным осям.

Подставляя выражения (23)–(25) в геометрические соотношения для деформаций сдвига, можно увидеть, что выражение (14) удовлетворится тождественно, а вместо формул (13) и (15) получим следующие выражения:

$$e_{xy} = \theta_y + \frac{dv}{dx} - z\frac{d\beta}{dx}, \quad (26)$$

$$e_{xz} = \theta_z + \frac{dw}{dx} + y\frac{d\beta}{dx}. \quad (27)$$

Подставим выражение (25) в формулу (10) и получим выражение для продольных деформаций:

$$e_x = \frac{du}{dx} + y\frac{d\theta_y}{dx} + z\frac{d\theta_z}{dx}. \quad (28)$$

По аналогии с задачей об изгибе балки в плоскости введем в рассмотрение осредненные деформации трансверсального сдвига, которые определяются по следующим формулам:

$$\psi_y = \theta_y + \frac{dv}{dx}, \quad (29)$$

$$\psi_z = \theta_z + \frac{dw}{dx}. \quad (30)$$

Перепишем выражение для потенциальной энергии деформации (2) с учетом принятых допущений (18)–(20).

$$U = \frac{1}{2}\iiint_V (\sigma_x e_x + \tau_{xy} e_{xy} + \tau_{xz} e_{xz})\, dxdydz. \quad (31)$$

Подставляя в подынтегральное выражение (31) в соотношения для деформаций (26)–(28), получим:

$$U=\frac{1}{2}\int\limits_{(x)}\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}\left\{\sigma_x\left(\frac{du}{dx}+y\frac{d\theta_y}{dx}+z\frac{d\theta_z}{dx}\right)+\right.$$
$$\left.+\tau_{xy}\left(\theta_y+\frac{dv}{dx}-z\frac{d\beta}{dx}\right)+\tau_{xz}\left(\theta_z+\frac{dw}{dx}+y\frac{d\beta}{dx}\right)\right\}dxdydz. \quad (32)$$

Если использовать физические соотношения (17), (6) и (8), то выражение (31) можно представить в следующем виде:

$$U=\frac{1}{2}\int\limits_V\int\limits\int(E_x e_x^2+G_{xy}e_{xy}^2+G_{xz}e_{xz}^2)dxdydz, \quad (33)$$

а выражение (32) в виде

$$U=\frac{1}{2}\int\limits_V\int\limits\int\left\{E_x\left(\frac{du}{dx}+y\frac{d\theta_y}{dx}+z\frac{d\theta_z}{dx}\right)^2+\right.$$
$$\left.+G_{xy}\left(\theta_y+\frac{dv}{dx}-z\frac{d\beta}{dx}\right)^2+G_{xz}\left(\theta_z+\frac{dw}{dx}+y\frac{d\beta}{dx}\right)^2\right\}dV. \quad (34)$$

Произведем в выражении (32) интегрирование по площади поперечного сечения балки. В результате получим следующее:

$$U=\frac{1}{2}\int\limits_{(x)}\left(\begin{array}{l}N\frac{du}{dx}+M_y\frac{d\theta_y}{dx}+M_z\frac{d\theta_z}{dx}+\\+M_{yz}\frac{d\beta}{dx}+Q_y\psi_y+Q_z\psi_z\end{array}\right)dx, \quad (35)$$

где

$$N=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}\sigma_x dydz;$$
$$M_y=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}y\,\sigma_x dydz;$$
$$M_z=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}z\sigma_x dydz;$$
$$Q_y=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}\tau_{xy}dydz;$$
$$Q_z=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}\tau_{xz}dydz;$$
$$M_{yz}=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}\left(\tau_{xz}y-\tau_{xy}z\right)dydz. \quad (36)$$

Заменяя в выражениях (36) напряжения σ_x, τ_{xy} и τ_{xz} их значениями, найденными из соотношений (17), (6) и (8), в которых, в свою очередь, деформации e_x, e_{xy} и e_{xz} учтены согласно выражениям (28), (26) и (27), получим физические соотношения в виде

$$N=B\frac{du}{dx}+C_1\frac{d\theta_y}{dx}+C_2\frac{d\theta_z}{dx};$$
$$Q_y=K_1\psi_y+C_4\frac{d\beta}{dx};\ Q_z=K_2\psi_z+C_5\frac{d\beta}{dx};$$
$$M_y=C_1\frac{du}{dx}+D_1\frac{d\theta_y}{dx}+C_3\frac{d\theta_z}{dx};$$
$$M_z=C_2\frac{du}{dx}+C_3\frac{d\theta_y}{dx}+D_2\frac{d\theta_z}{dx};$$
$$M_{yz}=C_4\psi_y+C_5\psi_z+D_{12}\frac{d\beta}{dx}, \quad (37)$$

где B, C, D и K – параметры жесткости, вычисляемые по следующим формулам:

$$B=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}E\,dydz;\ C_1=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}y\,E\,dydz;$$
$$C_2=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}z\,E\,dydz;\ C_3=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}y\,z\,E\,dydz;$$
$$C_4=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}z\,G_{xy}dydz;\ C_5=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}y\,G_{xz}dydz;$$
$$D_1=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}y^2E\,dydz;\ D_2=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}z^2E\,dydz;$$
$$K_1=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}G_{xy}dydz;\ K_2=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}G_{xz}dydz;$$
$$D_{12}=\int\limits_{(y)}\int\limits_{(z)}\left(y^2G_{xz}+z^2G_{xy}\right)dydz. \quad (38)$$

Примем для продольных перемещений оси стержня u, угла поворота сечения относительно оси X (β) и углов трансверсального сдвига ψ линейный характер изменения вдоль оси, а для прогибов обоих направлений – кубический:

$$u(x)=\alpha_1+\alpha_2x;\ v(x)=\alpha_3+\alpha_4x+\alpha_5x^2+\alpha_6x^3;$$
$$w(x)=\alpha_7+\alpha_8x+\alpha_9x^2+\alpha_{10}x^3; \quad (39)$$
$$\psi_y(x)=\alpha_{11}+\alpha_{12}x;$$
$$\psi_z(x)=\alpha_{13}+\alpha_{14}x;\ \beta(x)=\alpha_{15}+\alpha_{16}x.$$

Изменения вдоль оси X углов поворота сечения по причине изгиба будут определяться по формулам

$$\frac{dv}{dx}=\alpha_4+2\alpha_5x+3\alpha_6x^2;\ \frac{dw}{dx}=\alpha_8+2\alpha_9x+3\alpha_{10}x^2. \quad (40)$$

Сформируем вектор кинематических переменных:

$$\boldsymbol{\delta}=\left\{u\quad v\quad \frac{dv}{dx}\quad w\quad \frac{dw}{dx}\quad \psi_y\quad \psi_z\quad \beta\right\}^T. \quad (41)$$

Тогда уравнения (39) можно записать в виде следующего матричного выражения:

$$\boldsymbol{\delta}=\boldsymbol{S}\cdot\boldsymbol{\alpha}, \quad (42)$$

где $\boldsymbol{\alpha}$ – вектор постоянных:

$$\alpha=\{\alpha_1\quad \alpha_2\quad \alpha_3\quad \alpha_4\quad \alpha_5\quad \alpha_6\quad \alpha_7\quad \alpha_8\quad \alpha_9\quad \alpha_{10}\quad \alpha_{11}\quad \alpha_{12}\quad \alpha_{13}\quad \alpha_{14}\quad \alpha_{15}\quad \alpha_{16}\}^T; \quad (43)$$

$\boldsymbol{S}$ – матрица со следующей структурой и компонентами

$$\boldsymbol{S}=\begin{bmatrix}1&x&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&x&x^2&x^3&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&2x&3x^2&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&x&x^2&x^3&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&1&2x&3x^2&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&x&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&x&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&x\end{bmatrix}. \quad (44)$$

Введем в рассмотрение векторы узловых кинематических параметров:

– в первом узле:

$$\boldsymbol{\delta}_e^{(1)}=\left\{u^{(1)}\quad v^{(1)}\quad \left(\frac{dv}{dx}\right)^{(1)}\quad w^{(1)}\quad \left(\frac{dw}{dx}\right)^{(1)}\quad \psi_y^{(1)}\quad \psi_z^{(1)}\quad \beta^{(1)}\right\}; \quad (45)$$

– во втором узле:

$$\boldsymbol{\delta}_e^{(2)}=\left\{u^{(2)}\quad v^{(2)}\quad \left(\frac{dv}{dx}\right)^{(2)}\quad w^{(2)}\quad \left(\frac{dw}{dx}\right)^{(2)}\quad \psi_y^{(2)}\quad \psi_z^{(2)}\quad \beta^{(2)}\right\}. \quad (46)$$

Через $\boldsymbol{\delta}_e$ обозначим вектор узловых кинематических параметров балочного элемента:

$$\boldsymbol{\delta}_e = \{\boldsymbol{\delta}_e^{(1)}\, \boldsymbol{\delta}_e^{(2)}\}^T. \qquad (47)$$

Компоненты вектора $\boldsymbol{\delta}_e$ найдем с помощью соотношения (42), которое следует записать для двух значений продольной координаты: $X = 0$ и $X = l$ (l – длина балочного элемента). Результат запишем в матричном виде:

$$\boldsymbol{\delta}_e = \boldsymbol{T} \cdot \boldsymbol{\alpha}, \qquad (48)$$

где $\boldsymbol{T}$ – матрица размерностью 16×16 со структурой и компонентами, приведенными ниже.

Подставляя вектор $\boldsymbol{\alpha}$, найденный из выражения (48), в уравнение (42), получим значения компонент вектора $\boldsymbol{\delta}$, выраженные через узловые кинематические параметры:

$$\boldsymbol{\delta} = \boldsymbol{P} \cdot \boldsymbol{\delta}_e, \qquad (49)$$

где

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{S} \cdot \boldsymbol{T}^{-1}, \qquad (50)$$

где $\boldsymbol{T}$ – квадратная матрица следующего вида:

$$\boldsymbol{T} = \begin{bmatrix}
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
1 & t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & t & t^2 & t^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 2t & 3t^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t & t^2 & t^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2t & 3t^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t
\end{bmatrix}.$$

Матрица $\boldsymbol{P}$ имеет размерность 8×16. У нее следующие структура и компоненты:

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix}
p_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{19} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & p_{22} & p_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{2,10} & p_{2,11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & p_{32} & p_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{3,10} & p_{3,11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & p_{44} & p_{45} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{4,12} & p_{4,13} & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & p_{54} & p_{55} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{5,12} & p_{5,13} & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{66} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{6,14} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{77} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{7,15} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{88} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{8,16}
\end{bmatrix},$$

$$p_{11} = p_{66} = p_{77} = p_{88} = 1 - \frac{x}{l};$$

$$p_{19} = p_{6,14} = p_{7,15} = p_{8,16} = \frac{x}{l};$$

$$p_{22} = p_{44} = 1 - 3\frac{x^2}{l^2} + 2\frac{x^3}{l^3};$$

$$p_{23} = p_{45} = x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2};$$

$$p_{2,10} = p_{4,12} = 3\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3};$$

$$p_{2,11} = p_{4,13} = -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2};$$

$$p_{32} = p_{54} = -6\frac{x}{l^2} + 6\frac{x^2}{l^3};$$

$$p_{33} = p_{55} = 1 - 4\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2};$$

$$p_{3,10} = p_{5,12} = 6\frac{x}{l^2} - 6\frac{x^2}{l^3};$$

$$p_{3,11} = p_{5,13} = -2\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}.$$

Матричное соотношение (49) в развернутом виде имеет следующее представление:

$$v = \left(1 - 3\frac{x^2}{l^2} + 2\frac{x^3}{l^3}\right)v^{(1)} + \left(x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}\right)\left(\frac{dv}{dx}\right)^{(1)} + \\ + \left(3\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3}\right)v^{(2)} + \left(-\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}\right)\left(\frac{dv}{dx}\right)^{(2)}, \qquad (51)$$

$$\frac{dv}{dx} = \left(-6\frac{x}{l^2} + 6\frac{x^2}{l^3}\right)v^{(1)} + \left(1 - 4\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}\right)\left(\frac{dv}{dx}\right)^{(1)} + \\ + \left(6\frac{x}{l^2} - 6\frac{x^2}{l^3}\right)v^{(2)} + \left(-2\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}\right)\left(\frac{dv}{dx}\right)^{(2)}, \qquad (52)$$

$$w = \left(1 - 3\frac{x^2}{l^2} + 2\frac{x^3}{l^3}\right)w^{(1)} + \left(x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)^{(1)} + \\ + \left(3\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3}\right)w^{(2)} + \left(-\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)^{(2)}, \qquad (53)$$

$$\frac{dw}{dx} = \left(-6\frac{x}{l^2} + 6\frac{x^2}{l^3}\right)w^{(1)} + \left(1 - 4\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)^{(1)} + \\ + \left(6\frac{x}{l^2} - 6\frac{x^2}{l^3}\right)w^{(2)} + \left(-2\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)^{(2)}, \qquad (54)$$

$$\psi_y = \left(1 - \frac{x}{l}\right)\psi_y^{(1)} + \frac{x}{l}\psi_y^{(2)}, \qquad (55)$$

$$\psi_z = \left(1 - \frac{x}{l}\right)\psi_z^{(1)} + \frac{x}{l}\psi_z^{(2)}, \qquad (56)$$

$$\beta = \left(1 - \frac{x}{l}\right)\beta^{(1)} + \frac{x}{l}\beta^{(2)}, \qquad (57)$$

$$u = \left(1 - \frac{x}{l}\right)u^{(1)} + \frac{x}{l}u^{(2)}. \qquad (58)$$

Подставим соотношения для кинематических переменных (51)–(58) в выражение потенциальной энергии деформации (34), выполним интегрирование и полученную функцию продифференцируем по каждой из компонент вектора узловых переменных $\boldsymbol{\delta}_e$. В результате получим матрицу жесткости балочного элемента со следующими компонентами и структурой:

$$k_{11} = -k_{19} = k_{99} = Bl;$$

$$k_{13} = -k_{16} = -k_{1,11} = k_{1,14} - k_{39} = \\ = k_{69} = k_{9,11} = -k_{9,14} = -\frac{C_1}{l};$$

$$k_{15} = -k_{17} = -k_{1,13} = k_{1,15} = \\ = -k_{59} = k_{79} = k_{9,13} = -k_{9,15} = -\frac{C_2}{l};$$

$$k_{22} = -k_{2,10} = k_{10,10} = 12\frac{D_1}{l^3}; \; k_{33} = k_{11,11} = 4\frac{D_1}{l};$$

$$k_{23} = k_{2,11} = -k_{3,10} = -k_{10,11} = 6\frac{D_1}{l^2}; \; k_{35} = k_{11,13} = 4\frac{C_3}{l};$$

$$k_{24} = -k_{2,12} = -k_{4,10} = k_{10,12} = 12\frac{C_3}{l^3};\ \ k_{3,11} = 2\frac{D_1}{l};$$

$$k_{25} = k_{2,13} = k_{3,4} = -k_{3,12} = -k_{39} =$$

$$= k_{4,11} = -k_{5,10} = -k_{10,13} = -k_{11,12} = 6\frac{C_3}{l^2};$$

$$k_{36} = -k_{3,14} = -k_{6,11} = k_{11,14} = -\frac{D_1}{l};$$

$$k_{3,13} = k_{5,11} = 2\frac{C_3}{l}; \qquad (59)$$

$$k_{37} = -k_{3,15} = k_{5,6} = -k_{5,14} = -k_{67} = k_{6,13} =$$

$$= k_{6,15} = -k_{7,11} = k_{7,14} = k_{11,15} = k_{13,14} = -k_{14,15} = -\frac{C_3}{l};$$

$$k_{44} = k_{12,12} = 12\frac{D_2}{l^3};$$

$$k_{45} = k_{4,13} = -k_{5,12} = -k_{12,13} = 6\frac{D_2}{l^2};$$

$$k_{55} = k_{13,13} = 4\frac{D_2}{l};$$

$$k_{57} = -k_{5,15} = -k_{7,13} = k_{13,15} = -\frac{D_2}{l};$$

$$k_{5,13} = 2\frac{D_2}{l};\ \ k_{66} = k_{14,14} = \frac{D_1}{l} + \frac{K_1 l}{3};$$

$$k_{68} = -k_{6,16} = k_{7,8} = -k_{7,16} = k_{8,14} =$$

$$= k_{8,15} = -k_{14,16} = -k_{15,15} = -\frac{C_4 + C_5}{4};$$

$$k_{6,14} = -\frac{D_1}{l} + \frac{K_1 l}{6};\ \ k_{77} = k_{15,15} = \frac{D_2}{l} + \frac{K_2 l}{3};$$

$$k_{7,15} = -\frac{D_2}{l} + \frac{K_2 l}{6};\ \ k_{88} = -k_{8,16} = k_{16,16}\frac{D_{12}}{l};$$

$$\boldsymbol{K}_e = \begin{bmatrix}
k_{11} & 0 & k_{13} & 0 & k_{15} & k_{16} & k_{17} & 0 & k_{19} & 0 & k_{1,11} & 0 & k_{1,13} & k_{1,14} & k_{1,15} & 0 \\
 & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{2,10} & k_{2,11} & k_{2,12} & k_{2,13} & 0 & 0 & 0 \\
 & & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} & k_{37} & 0 & k_{39} & k_{3,10} & k_{3,11} & k_{3,12} & k_{3,13} & k_{3,14} & k_{3,15} & 0 \\
 & & & k_{44} & k_{45} & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{4,10} & k_{4,11} & k_{4,12} & k_{4,13} & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & k_{55} & k_{56} & k_{57} & 0 & k_{59} & k_{5,10} & k_{5,11} & k_{5,12} & k_{5,13} & k_{5,14} & k_{5,15} & 0 \\
 & & & & & k_{66} & k_{67} & k_{68} & k_{69} & 0 & k_{6,11} & 0 & k_{6,13} & k_{6,14} & k_{6,15} & k_{6,16} \\
 & & & & & & k_{77} & k_{78} & k_{79} & 0 & k_{7,11} & 0 & k_{7,13} & k_{7,14} & k_{7,15} & k_{7,16} \\
 & & & & & & & k_{88} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{8,14} & k_{8,15} & k_{8,16} \\
 & & & & & & & & k_{99} & 0 & k_{9,11} & 0 & k_{9,13} & k_{9,14} & k_{9,15} & 0 \\
 & & & & & & & & & k_{10,10} & k_{10,11} & k_{10,12} & k_{10,13} & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & & k_{11,11} & k_{11,12} & k_{11,13} & k_{11,14} & k_{11,15} & 0 \\
 & & & & & & & & & & & k_{12,12} & k_{12,13} & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & & & & k_{13,13} & k_{13,14} & k_{13,15} & 0 \\
 & с & и & м & м & е & т & р & и & ч & н & о & & k_{14,14} & k_{14,15} & k_{14,16} \\
 & & & & & & & & & & & & & & k_{15,15} & k_{15,16} \\
 & & & & & & & & & & & & & & & k_{16,16}
\end{bmatrix} \qquad (60)$$

Матрица жесткости (60) является матрицей коэффициентов разрешающей системы линейных алгебраических уравнений, возникающей в задачах прочностного расчета пространственных балок, в которых она должна быть дополнена вектором узловых нагрузок. Эта же матрица фигурирует в задаче об устойчивости балки и в модальном анализе (определение частот и форм собственных колебаний).

Таким образом, получена матрица жесткости балочного элемента, предназначенная для конечно-элементного анализа пространственных балок, податливых при трансверсальном сдвиге. Она может быть использована как в расчетах отдельных балок, так и в расчетах стержневых конструкций рамного типа, деформирование которых происходит без депланации сечений.

Библиографические ссылки

1. Васильев В. В. Механика конструкций из композиционных материалов. М. : Машиностроение, 1988.

V. A. Nesterov

STIFFNESS MATRIX OF THE TRIDIMENTIONAL BEAM FINITE ELEMENT WITH LOW TRANSVERSE SHEAR STIFFNESS

The finite element of a beam with low value of transverse shear stiffness is considered. In variation realization of of final elements method the matrix of rigidity of tridimentional beam is received. As one of the basic central kinematic parametric variables occur transverse shear strains.

Keywords: a beam, finite element method, transverse shear strains.

© Нестеров В. А., 2010

УДК 629.78.051

А. А. Хвалько, В. Г. Бутов, А. П. Жуков, С. Б. Сунцов, А. А. Ящук

КОМПЛЕКС МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ И ПРОБЛЕМА АДЕКВАТНОСТИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Рассмотрены вопросы создания пакета прикладных программ для проведения механического анализа бортовой аппаратуры космических аппаратов с использованием конечно-элементных моделей, а также алгоритм упрощения данных моделей и оценка их адекватности.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, механический анализ, бортовая аппаратура, упрощенная модель, конечно-элементная модель.

Конструирование сложной наукоемкой продукции, в том числе бортовой аппаратуры (БА) космического назначения, базируется на современных методах расчета, что позволяет создавать сложные конструкции и подвергать их тщательному анализу. В настоящее время успешно применяются методики, основанные на использовании электронно-вычислительных машин совместно с современными CAE-системами (Computer-aided engineering – системы инженерного анализа). Данный подход позволяет решать проблемы конструирования и расчетов на прочность, существенно приблизив расчетные модели к реальным конструкциям.

Одним из самых универсальных методов механического анализа (МА) различных конструкций является метод конечных элементов (МКЭ) [1]. Он, по существу, представляет собой прямой вариационный метод, приспособленный для расчета сложных нерегулярных моделей. Возможность создания общей системы расчета всех составных частей конструкции, а не отдельных ее элементов, делает этот метод наиболее привлекательным. Совершенствование расчетных схем – тенденция, которая характерна для проектирования БА. Это объясняется двумя обстоятельствами.

1. В ряде случаев благодаря более детальному расчету напряжений и деформированной формы конструкций БА удается заметно уменьшить ее массу.

2. Расчет часто оказывается единственной возможностью оценки поведения конструкции в космическом пространстве и по пути туда, так как имитация работы БА в земных условиях в большинстве случаях весьма ограниченна.

Однако наряду с неоспоримыми преимуществами МКЭ таит в себе и некоторые проблемы. Непрерывный прогресс в области вычислительной техники провоцирует создание все более подробных моделей, и в настоящее время их размерность достигает величины порядка 10^5 неизвестных. И если динамический анализ подробной модели с простой конфигурацией возможен, то при расчете моделей сложной конфигурации вычислительные аспекты остаются факторами, существенно ограничивающими адекватность полученных результатов.

Для решения подобных проблем создаются пакеты прикладных программ для механического анализа, в том числе и упрощенных моделей. Наиболее известным продуктом в данной области является АСОНИКА-ТМ [2]. Он предназначен для анализа механических характеристик конструкций верхнего иерархического уровня (шкаф, стойка, блок). Печатные платы с сосредоточенными электрорадиоизделиями (ЭРИ) и сопутствующими материалами данным пакетом не рассматриваются. Кроме того, он не предусматривает возможность автоматизированного формирования расчетных моделей.

Учитывая вышесказанное, возникла необходимость создания собственного пакета программ. В результате был разработан аппаратно-программный комплекс (АПК) МА БА. Данный программный продукт предназначен для определения собственных частот, эффективных масс, напряженно-деформированного состояния моделей при воздействии линейного ускорения, синусоидальной и широкополосной случайной вибрации, ударов. Объектами анализа АПК являются упрощенные конечно-элементные модели (КЭМ) БА, учитывающие наличие печатных плат с установленными на них имитаторами ЭРИ.

Основной частью созданного АПК является CAE-система ANSYS [3] и программа «Механализ БА», предназначенные для проведения анализа механических характеристик произвольных и унифицированных конструкций БА соответственно. Используя КЭМ, реализуется динамический анализ линейных моделей приборов БА. Для этого был проведен анализ унифицированных конструкций БА на предмет их упрощения и реализации в виде численно-математической модели, в результате чего определены основные направления по упрощению конструктивных элементов БА. При этом учитывалось, что вносимые изменения не должны приводить к неприемлемым погрешностям в результатах численного анализа.

Для включения имитаторов ЭРИ в модели БА разработан специализированный алгоритм, формирующий файл APDL (ANSYS Parametric Design Language – встроенный алгоритмический язык программирования), позволяющий автоматизировать отдельные трудоемкие процедуры моделирования. Данный алгоритм вместо ЭРИ использует элементы сосредоточенной массы, а не соответствующее увеличение плотности материала элементов рамки, как в аналогичных расчетных комплексах. Также для адаптации данного АПК под конечного пользователя создан дружественный интерфейс и база данных (БД) унифицированных конструкций БА.

Общая структура базы данных и интерфейс пользователя. Исходя из требований, предъявляемых к АПК, была выбрана БД реляционного типа, доступ к которой осуществляется через ODBC (Open Data Base Connectivity – открытая связь с базами данных) под управлением

Microsoft Access. БД состоит из служебных таблиц, описывающих содержимое и связи в таблицах данных, и собственно таблиц данных. Ее структура построена с учетом возможного расширения.

Служебные таблицы содержат информацию о других таблицах, типах данных в БД (прибор, рамка, крепление, материал, источник данных и т. д.) и полях данных всех таблиц (размерность, диапазон возможных значений, описание смысла и т. д.).

В состав таблиц данных входят следующие информационные блоки:

– приборы;
– отдельные блоки;
– материалы;
– элементы конструкций приборов;
– расположение и состав блоков каждого прибора;
– механические нагрузки;
– проведенные расчеты;
– ЭРИ (автоматически импортируются из систем проектирования печатных плат).

В качестве примера рассмотрим БД конструктивного исполнения БА, имеющую структуру типа «лес» и состоящую из отдельных деревьев. Так, вершиной дерева является БА – конструктивный элемент, ссылающийся на строку с ее описанием в таблице. Каждой строке в таблице БА должна соответствовать одна запись в схеме компоновки.

В схеме компоновки БА могут быть следующие дочерние элементы: блоки, из которых она состоит, дополнительные конструкционные элементы (кронштейн, планка и т. д.), результаты проведенных расчетов. Отметим, что у каждого дочернего элемента существует его строка описания и наличие своих дочерних элементов. Так, у блока дочерними элементами могут быть ЭРИ, и в результате они могут быть автоматически скомпонованы в произвольные группы для установки на разные функциональные части блока (платы, модули, стороны основания и т. д.). Дочерним элементом результатов расчетов может быть реакция конструкции БА на конкретные виды механических воздействий.

Наполнение и работа с БД, создание моделей БА, а также процесс проведения механического анализа осуществляется с помощью пользовательского интерфейса – программной оболочки АПК «Механализ БА» (рис. 1).

Программная оболочка имеет 4 основных окна:

– главное окно АПК «Механализ БА» содержит меню основных функций, позволяющих управлять информацией БД, отвечает за визуализацию созданных моделей и координацию работ всех остальных окон;

– окно «Менеджер БД» обеспечивает работу с деревом компоновки БА, а также автоматизированное создание модели с размещенными имитаторами ЭРИ;

– окно «Параметры узла» обеспечивает задание положения любого конструктивного элемента относительно родительского, а также отображает эти параметры;

– окно «Свойства» обеспечивает пользователю возможность просматривать и задавать параметры конструктивных элементов, соответствующих выделенному элементу компоновки в окне «Менеджер БД».

Упрощение трехмерных моделей конструктивных элементов БА. Практика анализа механических характеристик КЭМ различных конструкций показывает, что использование подробных трехмерных моделей БА, созданных в САПР, для выполнения численного анализа нецелесообразно. Причиной тому является объем ресурсов, превышающий возможности вычислительной техники.

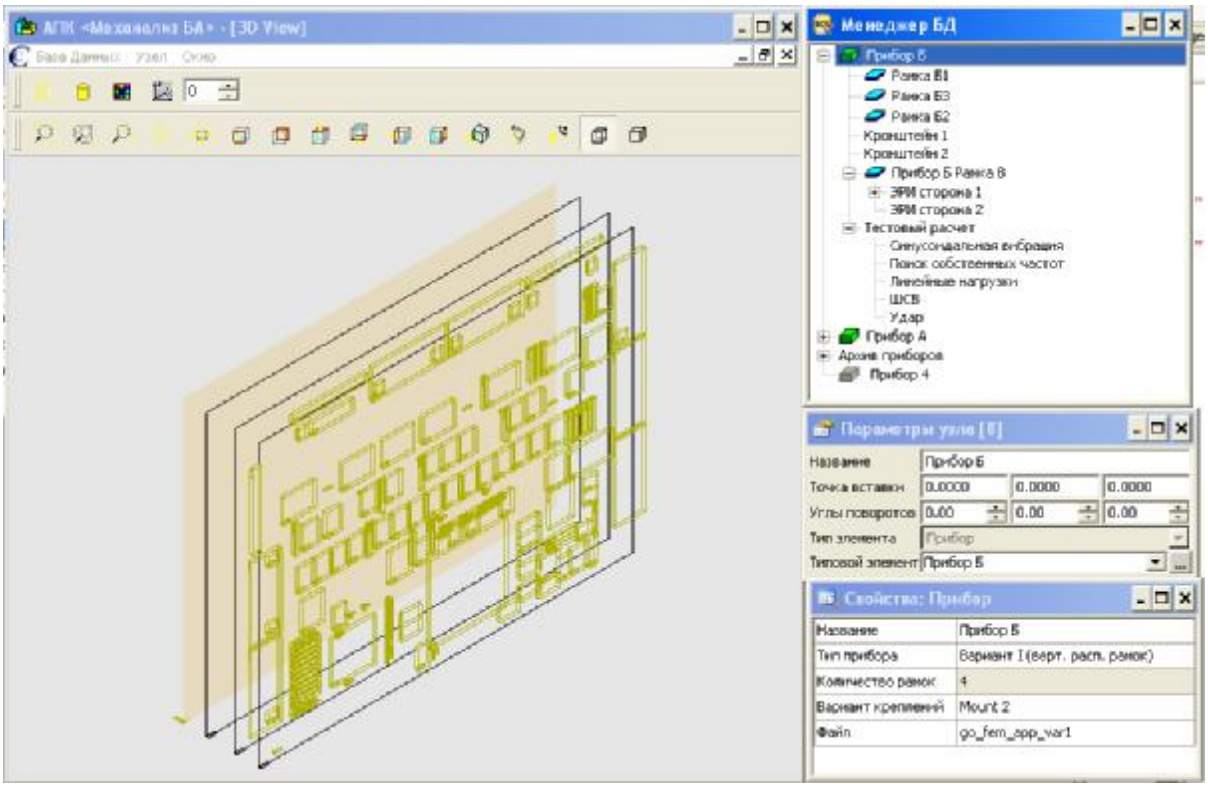


Рис. 1. Графический интерфейс пользователя

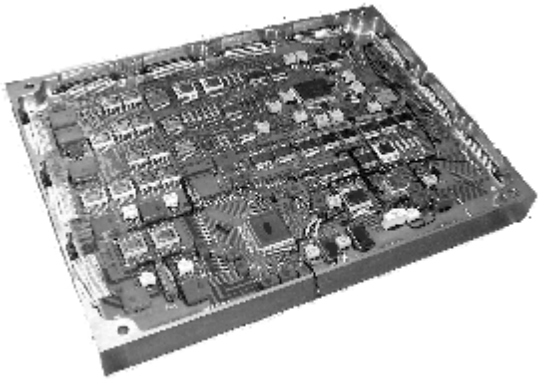
АПК предусматривает следующие алгоритмы в упрощении моделей приборов:

– упрощение трехмерных моделей конструктивных элементов БА;

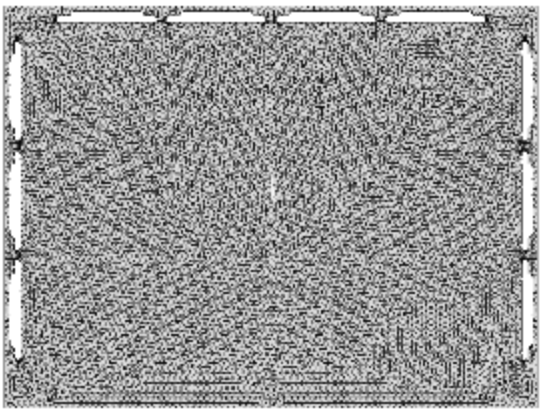
– автоматическое формирование упрощенных КЭМ БА с размещенными в ней весовыми имитаторами ЭРИ.

Упрощение полной модели БА осуществляется посредством упрощения ее конструктивных элементов (рамки, кронштейны, планки и т. д.) и последующего их соединения. Для унифицированных конструкций БА, находящихся в БД АПК, предусмотрено автоматическое создание точечных или распределенных соединений с использованием дополнительных элементов, устанавливающих механические связи между частями конструкций, которые в достаточной степени соответствуют связям реальной аппаратуры.

Работа алгоритмов упрощения иллюстрируется на примере алюминиевой рамки блока БА (рис. 2), полная КЭМ которого показана на рис. 2, *б*. Данная модель построена на основе 92 074 твердотельных элементов (тетраэдр второго порядка SOLID92) и содержит 172 615 узлов.



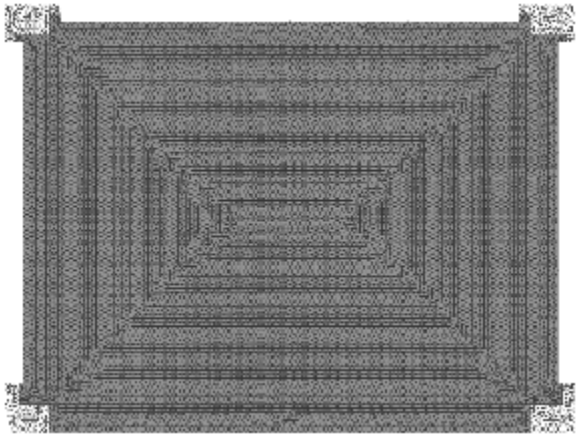
а



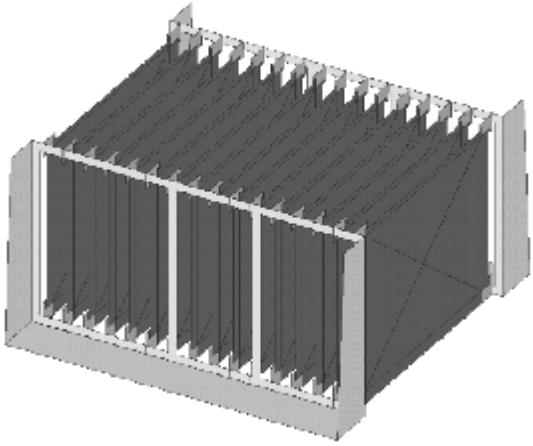
б

Рис. 2. Блок БА:
а – внешний вид; *б* – подробная КЭМ его рамки

Упрощение конструктивных элементов проходит по двум направлениям: первое – понижение размерности задачи; второе – отбрасывание несущественных деталей. В результате преобразований данная конструкция была представлена с помощью балочных элементов BEAM188 (рамка) и BEAM188 (вспомогательные элементы), оболочечных элементов SHELL181 (основание). Отметим, что основание моделировалось как многослойная структура, где количество слоев соответствовало количеству конструктивных элементов, присутствующих на нем, таких как клей, изолирующие прокладки, платы, покрытия и т. д. Результат упрощения трехмерных моделей показан на рис. 3. Упрощенная КЭМ конструкции рамки содержит 21 278 элементов и 11 684 узла (рис. 3, *а*).



а



б

Рис. 3. Упрощенная модель: *а* – блока; *б* – БА

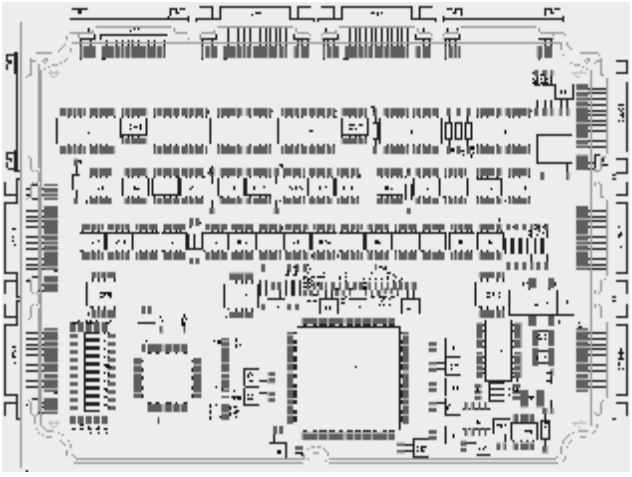
Обобщенное математическое описание типов элементов, используемых в полной и упрощенной моделях, можно представить в виде матричного уравнения:

$$[M]\left\{\ddot{u}\right\}+[C]\left\{\dot{u}\right\}+[K]\{u\}=\{F\}, \qquad (1)$$

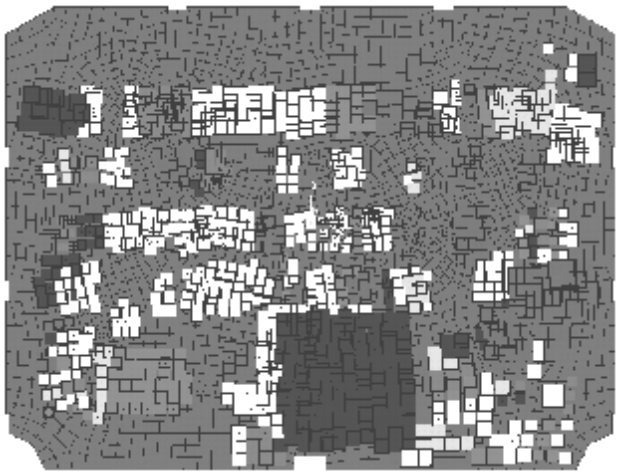
где $\{u\}$ – вектор узловых перемещений для всего тела; $\left\{\dot{u}\right\}, \left\{\ddot{u}\right\}$ – векторы ускорений и скоростей точек тела; $[K]$, $[C]$, $[M]$ – «глобальные» матрицы жесткости, демпфирования и масс всего тела; $\{F\}$ – вектор эквивалентных узловых сил для всего тела. Из уравнения (1) видно, что математическое представление упрощенной модели наиболее выгодно для проведения численного моделирования.

Далее автоматически строится модель всей БА, состоящей из 16 блоков (рис. 3, *б*). После этого на блоках упрощенной модели БА осуществляется автоматическое размещение весовых имитаторов ЭРИ. Пример данного размещения также рассмотрим на одном из блоков (рис. 4).

Общий вид блока с платами и размещенными на платах имитаторами показан на рис. 4, *а*. Для работы алгоритма необходим файл топологии исследуемых блоков БА, разработанный в системе автоматизированного проектирования печатных плат. Из данного файла в автоматическом режиме производится извлечение атрибутов каждого ЭРИ, которые служат основой для создания файла данных (ФД). ФД представляет собой текстовый файл, содержащий в структурированном виде информацию о каждом ЭРИ. Для включения весовых имитаторов в КЭМ блока разработан специализированный алгоритм, преобразующий информацию из ФД во входной файл APDL для ANSYS [4]. Наличие на платах ЭРИ учитывалось введением дополнительной массы в соответствующих узлах КЭМ. Для этого по габаритным размерам каждого ЭРИ и его положению на плате определялись узлы сетки, которые накрывались его плоскостью. Затем масса каждого ЭРИ равномерно распределялась между выбранными узлами. В этих узлах дополнительно создавались элементы типа MASS21, которым и приписывалась распределенная масса. Результат работы алгоритма показан на рис. 4, *б*.



а



б

Рис. 4. Блок с платами и ЭРИ: *а* – общий вид блока; *б* – основание блока с автоматически сформированными весовыми имитаторами ЭРИ

Оценка адекватности созданных моделей. Для оценки адекватности упрощенной модели БА проводился расчет собственных частот одного из блоков и последующее сравнение полученных результатов с экспериментальными значениями. Одним из важнейших параметров упрощенной модели является число конечных элементов (КЭ), из которых она состоит. Следовательно, варьируя количество КЭ можно изменять отклонение значений собственных частот расчетной модели относительно эмпирической. Для вычисления относительного отклонения была использована следующая формула:

$$\varepsilon = \frac{f_Э - f_Р}{f_Э} \cdot 100\ \%. \qquad (2)$$

где $f_Э$ – частоты, полученные эмпирическим путем; $f_Р$ – частоты, полученные при расчете упрощенной модели.

В соответствии с рис. 3, *а* основное количество узлов и элементов в упрощенной модели приходится на пластину, а значит, эксперимент по изменению числа КЭ целесообразно проводить именно с ней. Зависимость относительных отклонений от количества элементов в модели при определении собственных частот, используемых при моделировании основания, показана на рис. 5.

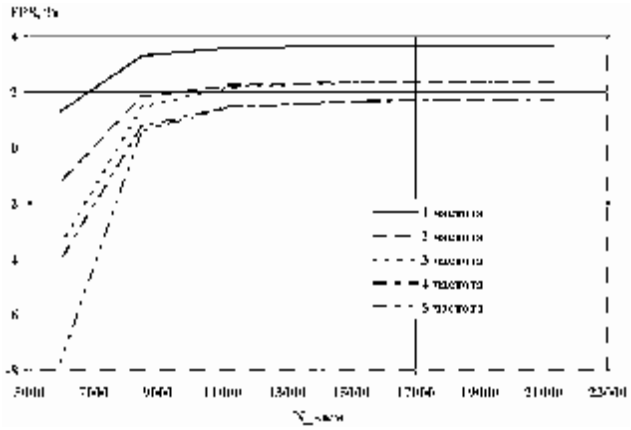


Рис. 5. Зависимость относительных отклонений от числа КЭ в модели

С увеличением числа КЭ отклонения сначала сохраняют существующий уровень, но уже при их количестве, равном 9 000, они начинают резко уменьшаться и продолжают заданную тенденцию до значения 20 000. Дальнейшие увеличение КЭ в модели теряет смысл, так как в данном случае происходит значительное усложнение математической модели при ничтожном улучшении стабильности. Из чего следует, что число КЭ на пластине допустимо понижать до 9 000. Результаты динамического анализа модели блока при воздействии синусоидальной вибрации, основание которого состоит из 20 000 КЭ, показаны на рис. 6. Рассчитывалось ускорение в точке установки датчика в направлении, перпендикулярном плоскости блока. Коэффициент демпфирования равнялся 2 %. Также на рис. 6 приведены результаты, полученные при испытании данного блока.

Для подтверждения правильности идеологии упрощения расчетных моделей и их настройки было проведено сравнение полученных значений расчетов целого прибора со значениями реального эксперимента. Вибраци-

онные испытания и механический анализ проводились на реальной БА, состоящей из 16 блоков, и ее численной модели, изображенной на рис. 3, *б*, соответственно. Отметим, что механический анализ проводился на двух численных моделях: I – облегченная модель, основания блоков которой содержали не более 20 000 КЭ; II – легкая модель, основания блоков которой содержали не менее 9 000 КЭ. При этом учитывались только явно выраженные пики. Частоты, определенные из опыта, поставлены в соответствие с наиболее близкими значениями расчетных частот.

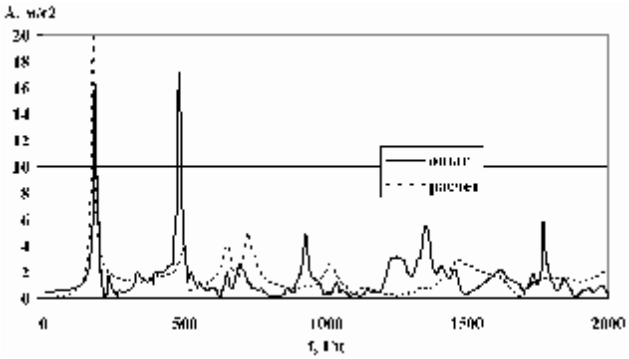


Рис. 6. Результаты динамического анализа расчетной и экспериментальной моделей

В таблице показаны расчетные и экспериментальные частотные значения для моделей I и II. Кроме того, представлены значения эффективных масс. Анализируя значения эффективных масс, можно заметить, что некоторые частоты, которые возбуждались в эксперименте, в расчетном случае имеют эффективную массу близкую к 0. Вероятная причина этого явления может состоять в том, что граничные условия, поставленные в расчетном случае, не в полной мере соответствуют условиям эксперимента.

Сравнение результатов моделей I и II показывает, что легкая модель II также дает удовлетворительные результаты. Наиболее заметные изменения наблюдаются для некоторых эффективных масс. Так на модели II эффективная масса частоты с номером 6 увеличилась приблизительно в два раза, эффективная масса частоты с номером 7 уменьшилась.

Созданный АПК, помимо решения большинства задач, поставленных перед ним, также упрощает взаимодействие конструктора с CAE-системой (например ANSYS). Разработанная структура БД, интерфейс и алгоритмы упрощения расчетных моделей позволяют разработчику при работе с унифицированными конструкциями достаточно быстро подготовить необходимые данные и проводить анализ БА на воздействия механических нагрузок. Приведенная схема оценки адекватности моделей позволила качественно наполнить БД АПК унифицированными конструкциями приборов БА и провести удовлетворительные расчеты. Также имеется возможность проведения механического анализа моделей, созданных в других САПР. Проведенная работа показала эффективность выбранного пути решения проблем взаимодействия конструктора с CAE-системой, вследствие чего работы по наполнению БД и совершенствованию АПК продолжаются.

Библиографические ссылки

1. Математическое моделирование радиоэлектронных средств при механических воздействиях / Кофанов Ю. Н. [и др.]. М. : Радио и связь, 2000.

2. Автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры [Электронный ресурс] / Моск. гос. ин-т электроники и математики. URL: www.asonika.ru.

Расчетные и экспериментальные частотные значения и значения эффективных масс

№ частоты	Объект				
	Реальная БА	Модель I		Модель II	
	Частота, экспериментальное значение, Гц	Частота, расчетное значение, Гц	Значение эффективной массы, кг	Частота, расчетное значение, Гц	Значение эффективной массы, кг
1	183,0	171,1	0,291 695	176,0	0,288 266
2	–	320,2	$3{,}90 \cdot 10^{-04}$	324,6	$6{,}96 \cdot 10^{-04}$
3	–	388,8	$7{,}63 \cdot 10^{-06}$	398,0	$1{,}31 \cdot 10^{-03}$
4	482,7	490,9	$2{,}13 \cdot 10^{-02}$	498,2	$1{,}83 \cdot 10^{-02}$
5	–	545,8	$3{,}54 \cdot 10^{-03}$	554,7	$2{,}77 \cdot 10^{-03}$
6	653,0	660,0	$1{,}30 \cdot 10^{-02}$	655,5	$2{,}53 \cdot 10^{-02}$
7	700,0	729,9	$2{,}12 \cdot 10^{-02}$	722,9	$1{,}80 \cdot 10^{-02}$
8	–	740,2	$3{,}98 \cdot 10^{-03}$	745,5	$2{,}00 \cdot 10^{-03}$
9	–	854,6	$1{,}42 \cdot 10^{-04}$	857,2	$1{,}06 \cdot 10^{-04}$
10	–	885,6	$1{,}36 \cdot 10^{-04}$	890,0	$7{,}68 \cdot 10^{-05}$
11	930,9	962,7	$9{,}71 \cdot 10^{-05}$	943,5	$2{,}19 \cdot 10^{-04}$
12	1 043,0	1 018,2	$6{,}74 \cdot 10^{-03}$	1 013,5	$6{,}64 \cdot 10^{-03}$
13	–	1 071,9	$2{,}01 \cdot 10^{-03}$	1 083,9	$1{,}23 \cdot 10^{-03}$
14	–	1 151,1	$9{,}62 \cdot 10^{-05}$	1 121,4	$9{,}41 \cdot 10^{-04}$
15	–	1 152,9	$1{,}06 \cdot 10^{-03}$	1 148,3	$1{,}02 \cdot 10^{-03}$
16	1 237,0	1 258,4	$7{,}21 \cdot 10^{-05}$	1 259,3	$6{,}51 \cdot 10^{-07}$
17	1 276,0	1 276,1	$7{,}74 \cdot 10^{-05}$	1 288,8	$2{,}98 \cdot 10^{-04}$
18	–	1 336,3	$3{,}11 \cdot 10^{-03}$	1 341,6	$4{,}63 \cdot 10^{-06}$
19	1 359,0	1 362,4	$1{,}58 \cdot 10^{-03}$	1 343,1	$3{,}83 \cdot 10^{-03}$
20	1 418,0	1 406,9	$7{,}05 \cdot 10^{-04}$	1 410,4	$1{,}15 \cdot 10^{-03}$
21	1 462,0	1 456,8	$1{,}21 \cdot 10^{-02}$	1 460,1	$1{,}13 \cdot 10^{-02}$

3. Каплун А. Б, Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера : практ. руководство. М. : Едиториал УРСС, 2003.

4. Хвалько А. А., Бутов В. Г. // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. Красноярск : ИПК СФУ, 2009.

A. A. Hvalko, V. G. Butov, A. P. Zhukov, S. B. Suntsov, A. A. Yaschuk

COMPLEX OFMECHANICAL ANALYSIS OF THE ONBOARD EQUIPMENT AND ADEQUACY OF FINITE-ELEMENT MODEL PROBLEM

The issues related to the applied software programs package creation for carrying out the satellite on-board equipment mechanical analysis using FEM as well as to the algorithm for simplification of the above models and estimation of there correctness are considered in this article.

Keywords: hardware and software complex, mechanical analysis, satellite-borne equipment, simplified model, finite-element model.

© Хвалько А. А., Бутов В. Г., Жуков А. П., Сунцов С. Б., Ящук А. А., 2010

УДК 519.62

В. А. Нестеров, А. В. Лопатин

ВЫВОД РАЗРЕШАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ ПЛАСТИНЫ С НИЗКОЙ ТРАНСВЕРСАЛЬНОЙ СДВИГОВОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ[1]

Рассматривается вариационная постановка задачи о деформировании пластины с низкой трансверсальной сдвиговой жесткостью. Выполнен вывод разрешающих уравнений равновесия и естественных граничных условий при двух вариантах выбора основных угловых переменных: углов наклона нормали и углов трансверсального сдвига.

Ключевые слова: пластина, трансверсальная сдвиговая деформация.

В настоящее время в современной технике наряду с традиционными получили распространение композиционные материалы, которые обладают высокой удельной прочностью и жесткостью. Композитные пластины отличаются рядом особенностей, которые должны быть учтены при проектировании и расчете. К их числу относится низкая сдвиговая жесткость по отношению к трансверсальным напряжениям. Эта особенность привела к появлению новых, более сложных по сравнению с традиционными, расчетных моделей с высокой степенью достоверности описывающих поведение композитных пластин.

Вывод разрешающих уравнений расчета конструкций с помощью метода конечных элементов (МКЭ) вариационным методом предполагает формирование энергетического функционала, под которым подразумевается выражение полной потенциальной энергии упругого тела. Это выражение состоит из суммы потенциальной энергии деформации U и потенциала внешних сил П:

$$E = U + \Pi. \tag{1}$$

В качестве исходного для U примем соответствующее выражение из теории упругости трехмерного тела:

$$U = \frac{1}{2}\iiint_V \left(\sigma_x e_x + \sigma_y e_y + \sigma_z e_z + \tau_{xy} e_{xy} + \tau_{xz} e_{xz} + \tau_{yz} e_{yz}\right) \times \\ \times dxdydz, \tag{2}$$

где σ_x, σ_y, σ_z – нормальные напряжения; τ_{xy}, τ_{xz}, τ_{yz} – касательные напряжения; e_x, e_y, e_z – линейные деформации вдоль осей системы координат; e_{xy}, e_{xz}, e_{yz} – деформации сдвига в соответствующих плоскостях.

Напряжения и деформации связаны физическими соотношениями. Для ортотропного материала они имеют следующий вид:

$$e_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{xy}\frac{\sigma_y}{E_y} - \mu_{xz}\frac{\sigma_z}{E_z};\ e_y = \frac{\sigma_y}{E_y} - \mu_{yx}\frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{yz}\frac{\sigma_z}{E_z};$$
$$e_z = \frac{\sigma_z}{E_z} - \mu_{zx}\frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{zy}\frac{\sigma_y}{E_y}; \tag{3}$$

$$e_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}};\ e_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G_{yz}};\ e_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G_{xz}}, \tag{4}$$

где $E_{x(y,z)}$ – модуль упругости соответствующего направления; $G_{xy(yz,xz)}$ – модуль сдвига в соответствующей плоскости; μ_{xy}, μ_{yx}, μ_{yz}, μ_{zy}, μ_{xz}, μ_{zx} – коэффициенты Пуассона.

Имеет место свойство симметрии упругих постоянных:

[1] Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.».

$$E_x\mu_{xy} = E_y\mu_{yx};\ \ E_y\mu_{yz} = E_z\mu_{zy};\ \ E_x\mu_{xz} = E_z\mu_{zx}. \quad (5)$$

Запишем геометрические соотношения линейной теории:

$$e_x = \frac{\partial u_x}{\partial x};\ \ e_y = \frac{\partial u_y}{\partial y};\ \ e_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \quad (6)$$

$$e_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x};\ \ e_{yz} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y};\ \ e_{xz} = \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x}, \quad (7)$$

где u_x, u_y, u_z – проекции перемещения произвольной точки на соответствующие оси координат.

Дальнейшие преобразования выражения (2) выполним по алгоритму приведения трехмерной задачи теории упругости к двумерной теории оболочек [1].

Примем следующие допущения о поведении материала пластины:

$$E_z \to \infty;\ \ \mu_{zx} \to 0;\ \ \mu_{zy} \to 0. \quad (8)$$

Тогда вместо (3) получим:

$$e_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{xy}\frac{\sigma_y}{E_y};\ \ e_y = \frac{\sigma_y}{E_y} - \mu_{yx}\frac{\sigma_x}{E_x};\ \ e_z = 0. \quad (9)$$

Из третьего геометрического соотношения (6) с учетом $e_z = 0$ следует, что вертикальные перемещения u_z зависят только от координат x и y:

$$u_z = w(x; y). \quad (10)$$

Перепишем геометрические соотношения для e_{xz} и e_{yz} следующим образом:

$$e_{xz} = \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x};\ \ e_{yz} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}. \quad (11)$$

Проинтегрируем (11) по толщине пластины в пределах от 0 (координата начальной плоскости) до z (координата произвольной плоскости). В итоге получим

$$\int_0^z e_{xz}dz = \int_0^z \frac{\partial u_x}{\partial z}dz + \int_0^z \frac{\partial w}{\partial x}dz;$$

$$\int_0^z e_{yz}dz = \int_0^z \frac{\partial u_y}{\partial z}dz + \int_0^z \frac{\partial w}{\partial y}dz. \quad (12)$$

Введем в (12) вместо e_{xz} и e_{yz} их осредненные по толщине значения, вычисляемые по следующим формулам:

$$\psi_x = \frac{1}{h}\int_{-s}^{h-s} e_{xz}dz;\ \ \psi_y = \frac{1}{h}\int_{-s}^{h-s} e_{yz}dz, \quad (13)$$

где h – толщина пластины; $(h - s)$ и $(-s)$ – координаты по вертикали верхней и нижней поверхностей пластины соответственно.

В результате, вместо (12) получим следующие уравнения:

$$\psi_x z = u_x(z) - u_x(z=0) + z\frac{\partial w}{\partial x};$$

$$\psi_y z = u_y(z) - u_y(z=0) + z\frac{\partial w}{\partial y} \quad (13)$$

или

$$u_x(z) = u + z\theta_x;\ \ u_y(z) = v + z\theta_y, \quad (14)$$

где $\theta_{x(y)}$ – угол поворота нормали к соответствующей оси; u, v, w – перемещения произвольной точки начальной плоскости вдоль осей x, y, z соответственно:

$$\theta_x = \psi_x - \frac{\partial w}{\partial x};\ \ \theta_y = \psi_y - \frac{\partial w}{\partial y}. \quad (15)$$

Подставим (14) в геометрические соотношения для e_x и e_y (6) и e_{xy} (7):

$$e_x = \frac{\partial u}{\partial x} + z\frac{\partial \theta_x}{\partial x};\ \ e_y = \frac{\partial v}{\partial y} + z\frac{\partial \theta_y}{\partial y};$$

$$e_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + z\left(\frac{\partial \theta_x}{\partial y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial x}\right). \quad (16)$$

С учетом выполненных преобразований для деформаций перепишем выражение потенциальной энергии деформации (2) в виде

$$U = \frac{1}{2}\iiint_V \left\{\delta_x\left(\frac{\partial u}{\partial x} + z\frac{\partial \theta_x}{\partial x}\right) + \delta_y\left(\frac{\partial v}{\partial y} + z\frac{\partial \theta_y}{\partial y}\right) + \right.$$
$$\left. + \tau_{xy}\left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + z\left(\frac{\partial \theta_x}{\partial y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial x}\right)\right] + \tau_{xz}\psi_x + \tau_{yz}\psi_y\right\} dxdydz. \quad (17)$$

Проинтегрируем (17) по толщине пластины, т. е. по z в пределах от $-s$ до $h - s$:

$$U = \frac{1}{2}\int_a^b\int_c^d \begin{pmatrix} N_x\varepsilon_x + N_y\varepsilon_y + N_{xy}\varepsilon_{xy} + M_x\chi_x + \\ + M_y\chi_y + M_{xy}\chi_{xy} + Q_x\psi_x + Q_y\psi_y \end{pmatrix} dxdy, \quad (18)$$

где через a и b обозначены координаты торцов пластины, перпендикулярные оси x, через c, d – координаты торцов пластины, перпендикулярные оси y.

В подынтегральном выражении функционала (18) также присутствуют N, Q, M – внутренние погонные усилия и ε, χ – деформации начальной плоскости.

Внутренние усилия в общем случае вычисляются по формулам

$$N_x = \int_{-s}^{h-s}\sigma_x dz;\ \ N_y = \int_{-s}^{h-s}\sigma_y dz;\ \ N_{xy} = \int_{-s}^{h-s}\tau_{xy}dz;$$

$$M_x = \int_{-s}^{h-s}\sigma_x z\,dz;\ \ M_y = \int_{-s}^{h-s}\sigma_y z\,dz; \quad (19)$$

$$M_{xy} = \int_{-s}^{h-s}\tau_{xy}z\,dz;\ \ Q_x = \int_{-s}^{h-s}\tau_{xz}dz;\ \ Q_y = \int_{-s}^{h-s}\tau_{yz}dz.$$

Деформации начальной плоскости определяются соотношениями

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x};\ \ \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y};\ \ \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x};$$

$$\chi_x = \frac{\partial \theta_x}{\partial x};\ \ \chi_y = \frac{\partial \theta_y}{\partial y};\ \ \chi_{xy} = \frac{\partial \theta_x}{\partial y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial x}. \quad (20)$$

Разрешая первые два соотношения (9) относительно напряжений, получим

$$\sigma_x = A_{11}e_x + A_{12}e_y;\ \ \sigma_y = A_{21}e_x + A_{22}e_y, \quad (21)$$

где параметры $A_{ij}(i, j = 1, 2)$ в данном случае определяются равенствами

$$A_{11} = \frac{E_x}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}};\ \ A_{22} = \frac{E_y}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}};$$

$$A_{12} = A_{21} = \frac{\mu_{xy}E_x}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}}. \quad (22)$$

Подставим напряжения σ_x, σ_y (21) и τ_{xy} (4), учитывая (16), в выражение (19). Тогда формулы для внутренних усилий примут следующий вид:

$$N_x = B_{11}\varepsilon_x + B_{12}\varepsilon_y + C_{11}\chi_x + C_{12}\chi_y;$$

$$N_y = B_{21}\varepsilon_x + B_{22}\varepsilon_y + C_{21}\chi_x + C_{22}\chi_y;$$

$$N_{xy} = B_{33}\varepsilon_{xy} + C_{33}\chi_{xy};\ \ Q_x = K_x\ \psi_x;$$

$$Q_y = K_y\ \psi_y;\ \ M_{xy} = C_{33}\varepsilon_{xy} + D_{33}\chi_{xy}; \quad (23)$$

$$M_x = C_{11}\varepsilon_x + C_{12}\varepsilon_y + D_{11}\chi_x + D_{12}\chi_y;$$

$$M_y = C_{21}\varepsilon_x + C_{22}\varepsilon_y + D_{21}\chi_x + D_{22}\chi_y,$$

где B, C, D и K – мембранные, смешанные, изгибные жесткости соответственно, вычисляемые по формулам

$$\begin{gathered}
B_{11} = \int_{-s}^{h-s} A_{11}dz;\ B_{12} = B_{21} = \int_{-s}^{h-s} A_{12}dz;\\
B_{22} = \int_{-s}^{h-s} A_{22}dz;\ B_{33} = \int_{-s}^{h-s} A_{33}dz;\\
C_{11} = \int_{-s}^{h-s} A_{11}z\,dz;\ C_{12} = C_{21} = \int_{-s}^{h-s} A_{12}z\,dz;\\
C_{22} = \int_{-s}^{h-s} A_{22}z\,dz;\ C_{33} = \int_{-s}^{h-s} A_{33}z\,dz;\\
D_{11} = \int_{-s}^{h-s} A_{11}z^2\,dz;\ D_{12} = D_{21} = \int_{-s}^{h-s} A_{12}z^2\,dz;\\
D_{22} = \int_{-s}^{h-s} A_{22}z^2\,dz;\ D_{33} = \int_{-s}^{h-s} A_{33}z^2\,dz,
\end{gathered} \tag{24}$$

где $A_{33} = G_{xy}$.

Определение жесткостей (24) для ортотропной однородной пластины, начальная плоскость которой совпадает с ее срединой плоскостью, может быть вычислено по формулам

$$\begin{gathered}
B_{11} = A_{11}h;\ B_{12} = B_{22} = A_{12}h;\\
B_{22} = A_{22}h;\ B_{33} = A_{33}h;\\
D_{11} = A_{11}\frac{h^3}{12};\ D_{12} = D_{21} = A_{12}\frac{h^3}{12};\\
D_{22} = A_{22}\frac{h^3}{12};\ D_{33} = A_{33}\frac{h^3}{12}.
\end{gathered} \tag{25}$$

Все смешанные жесткости при этом окажутся равными 0, а трансверсальные сдвиговые жесткости предстанут в виде

$$K_x = G_{xz}h;\ K_y = G_{yz}h. \tag{26}$$

Отметим, что формулы для перерезывающих сил в (23) получены при подстановке e_{xz}, e_{yz} из (4) в (13) и замене касательных напряжений τ_{xz} и τ_{yz} их осредненными значениями: Q_x/h и Q_y/h соответственно.

Потенциал внешних сил для пластины, нагруженной по верхней поверхности распределенной нагрузкой p_z, определяется следующим интегралом:

$$\Pi = \int_a^b\int_c^d p_z w\,dxdy. \tag{27}$$

Таким образом, выражение полной потенциальной энергии пластины имеет вид (1), в котором потенциальная энергия деформации задается интегралом (18), а потенциал внешних сил – (27). Выражение полной потенциальной энергии (1) со слагаемыми U и Π в виде (18) и (27) позволяет получить дифференциальные уравнения равновесия пластины и естественные граничные условия к ним. В дальнейших выкладках сосредоточим внимание на функционале потенциальной энергии деформации (18). Представим его в следующем виде:

$$U = \int_a^b\int_c^d F\,dxdy, \tag{28}$$

где

$$F = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} N_x\varepsilon_x + N_y\varepsilon_y + N_{xy}\varepsilon_{xy} + M_x\chi_x + \\ +M_y\chi_y + M_{xy}\chi_{xy} + Q_x\psi_x + Q_y\psi_y \end{pmatrix}. \tag{29}$$

Сформируем на основе (28) функционал Лагранжа. Для этого в подынтегральном выражении (28) выразим усилия через деформации согласно физическим соотношениям (23). В результате, вместо уравнения (29) получим

$$\begin{gathered}
F = \frac{1}{2}B_{11}\varepsilon_x^2 + C_{11}\varepsilon_x\chi_x + \frac{1}{2}D_{11}\chi_x^2 +\\
+B_{12}\varepsilon_x\varepsilon_y + C_{12}\varepsilon_x\chi_y + C_{12}\varepsilon_y\chi_x + D_{12}\chi_x\chi_y +\\
+\frac{1}{2}B_{22}\varepsilon_y^2 + C_{22}\varepsilon_y\chi_y + \frac{1}{2}D_{22}\chi_y^2 + \frac{1}{2}B_{33}\varepsilon_{xy}^2 +\\
+C_{33}\varepsilon_{xy}\chi_{xy} + \frac{1}{2}D_{33}\chi_{xy}^2 + \frac{1}{2}K_x\psi_x^2 + \frac{1}{2}K_y\psi_y^2
\end{gathered} \tag{30}$$

Теперь подставим в (30) геометрические соотношения (20) и углы трансверсального сдвига, выраженные из (15), после чего получим выражение

$$\begin{gathered}
F = \frac{1}{2}B_{11}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + C_{11}\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial\theta_x}{\partial x} + \frac{1}{2}D_{11}\left(\frac{\partial\theta_x}{\partial x}\right)^2 +\\
+B_{12}\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial v}{\partial y} + C_{12}\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial\theta_y}{\partial y} + C_{12}\frac{\partial v}{\partial y}\frac{\partial\theta_x}{\partial x} +\\
+D_{12}\frac{\partial\theta_x}{\partial x}\frac{\partial\theta_y}{\partial y} + \frac{1}{2}B_{22}\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + C_{22}\frac{\partial v}{\partial y}\frac{\partial\theta_y}{\partial y} +\\
+\frac{1}{2}D_{22}\left(\frac{\partial\theta_y}{\partial y}\right)^2 + C_{33}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial\theta_x}{\partial y} + \frac{\partial\theta_y}{\partial x}\right) +\\
+\frac{1}{2}B_{33}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{2}D_{33}\left(\frac{\partial\theta_x}{\partial y} + \frac{\partial\theta_y}{\partial x}\right)^2 +\\
+\frac{1}{2}K_x\left(\theta_x + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{2}K_y\left(\theta_y + \frac{\partial w}{\partial y}\right)^2.
\end{gathered} \tag{31}$$

С учетом (31) функционал (28) представим в общем виде:

$$U = \int_a^b\int_c^d F\begin{pmatrix} u, v, w, \theta_x, \theta_y, \dfrac{\partial u}{\partial x}, \dfrac{\partial u}{\partial y}, \dfrac{\partial v}{\partial x}, \dfrac{\partial v}{\partial y}, \\ \dfrac{\partial w}{\partial x}, \dfrac{\partial w}{\partial y}, \dfrac{\partial\theta_x}{\partial x}, \dfrac{\partial\theta_x}{\partial y}, \dfrac{\partial\theta_y}{\partial x}, \dfrac{\partial\theta_y}{\partial y} \end{pmatrix} dxdy. \tag{32}$$

Вариация функционала (32) имеет вид

$$\delta U = \int_a^b\int_c^d \left\{\begin{matrix} \dfrac{\partial F}{\partial u}\delta u + \cdots + \dfrac{\partial F}{\partial(\partial u/\partial x)}\delta\left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right) + \\ + \cdots + \dfrac{\partial F}{\partial(\partial\theta_x/\partial x)}\delta\left(\dfrac{\partial\theta_x}{\partial x}\right) + \cdots \end{matrix}\right\} dxdy. \tag{33}$$

Преобразуем входящие в (33) слагаемые, где присутствует вариация по той или иной производной, следующим образом:

$$\begin{gathered}
\int_a^b\int_c^d \frac{\partial F}{\partial(\partial u/\partial x)}\delta\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)dxdy = \int_c^d \frac{\partial F}{\partial(\partial u/\partial x)}\delta u\Big|_a^b dy -\\
-\int_a^b\int_c^d \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\partial F}{\partial(\partial u/\partial x)}\right]\delta u\,dxdy.
\end{gathered} \tag{34}$$

По схеме (34) преобразуются интегралы от всех остальных слагаемых, включающих вариации по производным от кинематических функций.

Вычислим производные от комплекса F (31) по всем тем переменным, по которым в (33) осуществляется варьирование. При этом получится следующее:

$$\frac{\partial F}{\partial u}=0;\ \frac{\partial F}{\partial v}=0;\ \frac{\partial F}{\partial w}=0. \qquad (35)$$

Запишем вариацию функционала (33) с учетом преобразованных интегралов (34) и вычисленных производных:

$$\delta U=\int_a^b\int_c^d\left(Q_x\delta\theta_x+Q_y\delta\theta_y\right)dxdy+\int_c^d N_x\delta u\Big|_a^b dy-$$
$$-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial N_x}{\partial x}\delta u\,dxdy+\int_a^b N_{xy}\delta u\Big|_c^d dx-$$
$$-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial N_{xy}}{\partial y}\delta u\,dxdy+$$
$$+\int_c^d N_{xy}\delta v\Big|_a^b dy-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial N_{xy}}{\partial x}\delta v\,dxdy+\int_a^b N_y\delta v\Big|_c^d dx-$$
$$-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial N_y}{\partial y}\delta v\,dxdy+\int_c^d Q_x\delta w\Big|_a^b dy-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial\theta_x}{\partial x}\delta w\,dxdy+$$
$$+\int_a^b Q_y\delta w\Big|_c^d dx-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial\theta_y}{\partial y}\delta w\,dxdy+$$
$$+\int_c^d M_x\delta\theta_x\Big|_a^b dy-$$
$$-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial M_x}{\partial x}\delta\theta_x\,dxdy+\int_a^b M_{xy}\delta\theta_x\Big|_c^d dx-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial M_{xy}}{\partial y}\delta\theta_x\,dxdy+$$
$$+\int_c^d M_{xy}\delta\theta_y\Big|_a^b dy-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial M_{xy}}{\partial x}\delta\theta_y\,dxdy+\int_a^b M_y\delta\theta_y\Big|_c^d dx-$$
$$-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial M_y}{\partial y}\delta\theta_y\,dxdy. \qquad (36)$$

Сгруппируем двойные интегралы в (36) по соответствующим вариациям независимых переменных (δu, δv, δw, $\delta\theta_x$, $\delta\theta_y$). Подынтегральные выражения в них будут являться уравнениями равновесия. Остальные члены в (36) формируют естественные граничные условия. Запишем уравнения равновесия пластины и граничные условия к ним в традиционном виде:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x}+\frac{\partial N_{xy}}{\partial y}=0;\quad N_x\delta u=0$$
$$\text{и } N_{xy}\delta v=0 \text{ при } x=a \text{ и } x=b;$$
$$\frac{\partial N_y}{\partial y}+\frac{\partial N_{xy}}{\partial x}=0;\quad N_y\delta v=0$$
$$\text{и } N_{xy}\delta u=0 \text{ при } y=c \text{ и } y=d;$$
$$\frac{\partial Q_x}{\partial x}+\frac{\partial Q_y}{\partial y}+p_z=0;\quad Q_x\delta w=0$$
$$\text{при } x=a \text{ и } x=b,\ Q_y\delta w=0 \text{ при } y=c \text{ и } y=d; \qquad (37)$$
$$\frac{\partial M_x}{\partial x}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial y}-Q_x=0;\quad M_x\delta\theta_x=0$$
$$\text{и } M_{xy}\delta\theta_y=0 \text{ при } x=a \text{ и } x=b;$$
$$\frac{\partial M_y}{\partial y}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial x}-Q_y=0;\quad M_y\delta\theta_y=0$$
$$\text{и } M_{xy}\delta\theta_x=0 \text{ при } y=c \text{ и } y=d.$$

При выводе (37) учтена вариация по прогибу от потенциала внешних сил (27). Это привело к появлению нагрузочного члена p_z в третьем уравнении равновесия.

Следует отметить, что уравнения равновесия из системы (37) часто используются при решении статической задачи о деформировании пластин с низкой трансверсальной сдвиговой жесткостью. В частности, они могут быть выведены из соответствующих уравнений, полученных в [1] из условий равновесия бесконечно малого элемента произвольной ортотропной оболочки. При использовании вариационного вывода системы уравнений равновесия естественные граничные условия получаются «автоматически».

Система уравнений (37) может быть использована при анализе таких расчетных случаев, когда граничные условия на краях пластины сформулированы относительно углов наклона нормали. Это классические варианты граничных условий: свободная кромка, свободное или шарнирное опирание или полное защемление края пластины. Если граничные условия отличаются от классических, например, как в случаях шарнирного опирания краев с фиксированным сдвигом или при защемлении со свободным сдвигом, уравнениями равновесия в виде (37) воспользоваться нельзя. Теперь рассмотрим иной вариант вариационной постановки задачи. Будем полагать в качестве основных кинематических переменных перемещения точек базовой плоскости u, v, w и углы трансверсального сдвига ψ_x и ψ_y. Перепишем подынтегральное выражение функционала (28). Для этого, используя выражения для углов поворота (15), выразим изменения кривизны и кручения (20) через прогиб и углы сдвига:

$$\chi_x=\frac{\partial\psi_x}{\partial x}-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2};\quad \chi_y=\frac{\partial\psi_y}{\partial y}-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2};$$
$$\chi_{xy}=\frac{\partial\psi_x}{\partial y}-\frac{\partial\psi_y}{\partial x}-2\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}. \qquad (38)$$

Подставляя (38) и мембранные деформации из выражений (20) в (30), получим

$$F=\frac{1}{2}B_{11}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+C_{11}\frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial x}-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)+$$
$$+\frac{1}{2}D_{11}\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial x}-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)^2+B_{12}\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial v}{\partial y}+$$
$$+C_{12}\frac{\partial u}{\partial x}\left(\frac{\partial\psi_y}{\partial y}-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)+C_{12}\frac{\partial v}{\partial y}\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial x}-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)+$$
$$+D_{12}\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial x}-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)\left(\frac{\partial\psi_y}{\partial y}-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)+$$
$$+\frac{1}{2}B_{22}\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2+C_{22}\frac{\partial v}{\partial y}\left(\frac{\partial\psi_y}{\partial y}-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)+$$
$$+\frac{1}{2}D_{22}\left(\frac{\partial\psi_y}{\partial y}-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)^2+\frac{1}{2}B_{33}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2+$$
$$+C_{33}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial y}+\frac{\partial\psi_y}{\partial x}-2\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}\right)+$$
$$+\frac{1}{2}D_{33}\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial y}+\frac{\partial\psi_y}{\partial x}-2\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}\right)^2+$$
$$+\frac{1}{2}K_x\psi_x^2+\frac{1}{2}K_y\psi_y^2. \qquad (39)$$

Таким образом, функционал (28) в общем случае предстанет в следующем виде:

$$U=\int_a^b\int_c^d F\left(u;v;w;\psi_x;\psi_y;\frac{\partial u}{\partial x};\frac{\partial u}{\partial y};\frac{\partial v}{\partial x};\frac{\partial v}{\partial y};\frac{\partial w}{\partial x};\frac{\partial w}{\partial y};\right.$$
$$\left.\frac{\partial\psi_x}{\partial x};\frac{\partial\psi_x}{\partial y};\frac{\partial\psi_y}{\partial x};\frac{\partial\psi_y}{\partial y};\frac{\partial^2 w}{\partial x^2};\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y};\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)dxdy. \quad (40)$$

Вариация функционала (40) имеет вид:

$$\delta U=\int_a^b\int_c^d\left\{\frac{\partial F}{\partial u}\delta u+\frac{\partial F}{\partial v}\delta v+\frac{\partial F}{\partial w}\delta w+\right.$$
$$+\frac{\partial F}{\partial\psi_x}\delta\psi_x+\frac{\partial F}{\partial\psi_y}\delta\psi_y+\frac{\partial F}{\partial(\partial u/\partial x)}\delta\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)+$$
$$+\cdots+\frac{\partial F}{\partial(\partial\psi_x/\partial x)}\delta\left(\frac{\partial\psi_x}{\partial x}\right)+\cdots+\frac{\partial F}{\partial(\partial^2 w/\partial x^2)}\delta\times$$
$$\left.\times\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)+\cdots\frac{\partial F}{\partial(\partial^2 w/\partial y^2)}\delta\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)\right\}dxdy. \quad (41)$$

В функционале (41) присутствуют вариации вторых производных от прогиба. Соответствующие интегралы должны быть преобразованы следующим образом:

$$\int_a^b\int_c^d\frac{\partial F}{\partial(\partial^2 w/\partial x^2)}\delta\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)dxdy=$$
$$=\int_c^d\frac{\partial F}{\partial(\partial^2 w/\partial x^2)}\delta\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)\Big|_a^b dy-$$
$$-\int_c^d\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\partial F}{\partial(\partial^2 w/\partial x^2)}\right]\delta w\Big|_a^b dy+$$
$$+\int_a^b\int_c^d\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[\frac{\partial F}{\partial(\partial^2 w/\partial x^2)}\right]\delta w\,dxdy. \quad (42)$$

Вычислим производные от комплекса F (39) по всем переменным, присутствующим в функционале (40). В результате получим соотношения вида:

$$\frac{\partial F}{\partial\psi_x}=K_x\psi_x=Q_x;\ \frac{\partial F}{\partial(\partial u/\partial x)}=N_x;$$
$$\frac{\partial F}{\partial(\partial\psi_x/\partial x)}=M_x\ \text{и т. д.} \quad (43)$$

Запишем вариацию функционала (41) с учетом преобразованных интегралов (34), (42) и вычисленных производных (43):

$$\delta U=\int_a^b\int_c^d\left(Q_x\delta\psi_x+Q_y\delta\psi_y\right)dxdy+$$
$$+\int_c^d N_x\delta u\Big|_a^b dy-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial N_x}{\partial x}\delta u\,dxdy+\int_a^b N_{xy}\delta u\Big|_c^d dx-$$
$$-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial N_{xy}}{\partial y}\delta u\,dxdy+\int_c^d N_{xy}\delta v\Big|_a^b dy-$$
$$-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial N_{xy}}{\partial x}\delta v\,dxdy+\int_a^b N_y\delta v\Big|_c^d dx-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial N_{xy}}{\partial y}\delta v\,dxdy+$$
$$+\int_c^d M_x\delta\psi_x\Big|_a^b dy-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial M_x}{\partial x}\delta\psi_x\,dxdy+$$
$$+\int_a^b M_{xy}\delta\psi_x\Big|_c^d dx-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial M_{xy}}{\partial y}\delta\psi_x\,dxdy+$$
$$+\int_c^d M_{xy}\delta\psi_y\Big|_a^b dy-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial M_{xy}}{\partial x}\delta\psi_y\,dxdy+$$
$$+\int_a^b M_y\delta\psi_y\Big|_c^d dx-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial M_y}{\partial y}\delta\psi_y\,dxdy-$$
$$-\int_c^d M_x\delta\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)\Big|_a^b dy+\int_c^d\frac{\partial M_x}{\partial x}\delta w\Big|_a^b dy-$$
$$-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2}\delta w\,dxdy-\int_a^b M_y\delta\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)\Big|_c^d dx+$$
$$+\int_a^b\frac{\partial M_y}{\partial y}\delta w\Big|_c^d dx-\int_a^b\int_c^d\frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2}\delta w\,dxdy-$$
$$-2\int_a^b\int_c^d\frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x\partial y}\delta w\,dxdy-\int_c^d M_{xy}\delta\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)\Big|_a^b dy+$$
$$+\int_a^b\frac{\partial M_{xy}}{\partial x}\delta w\Big|_c^d dx-\int_a^b M_{xy}\delta\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)\Big|_c^d dx+\int_c^d\frac{\partial M_{xy}}{\partial y}\delta w\Big|_a^b dy. \quad (44)$$

Сгруппируем подынтегральные выражения в двойных интегралах с одинаковыми вариациями независимых переменных. Сокращая их на соответствующие вариации, получим уравнения равновесия. Остальные слагаемые в (44) формируют естественные граничные условия:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x}+\frac{\partial N_{xy}}{\partial y}=0;\ N_x\delta u=0\ \text{и}\ N_{xy}\delta v=0\ \text{при}\ x=a$$
$$\text{и}\ x=b;\ \frac{\partial N_y}{\partial y}+\frac{\partial N_{xy}}{\partial x}=0;\ N_y\delta v=0$$
$$\text{и}\ N_{xy}\delta u=0\ \text{при}\ y=c\ \text{и}\ y=d;$$
$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2}+2\frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x\partial y}+\frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2}=0; \quad (45)$$
$$\left(\frac{\partial M_x}{\partial x}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial y}\right)\delta w=0;\ M_x\delta\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)=0;$$
$$M_{xy}\delta\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)=0;\ \text{при}\ x=a\ \text{и}\ x=b;$$
$$\left(\frac{\partial M_y}{\partial y}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial x}\right)\delta w=0;\ M_y\delta\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)=0;$$
$$M_{xy}\delta\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)=0;\ \text{при}\ y=c\ \text{и}\ y=d;$$
$$\frac{\partial M_x}{\partial x}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial y}-Q_x=0;\ M_x\delta\psi_x=0;$$
$$M_{xy}\delta\psi_y=0;\ \text{при}\ x=a\ \text{и}\ x=b;$$
$$\frac{\partial M_y}{\partial y}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial x}-Q_y=0;\ M_y\delta\psi_y=0;$$
$$M_{xy}\delta\psi_x=0;\ \text{при}\ y=c\ \text{и}\ y=d.$$

Система уравнений равновесия (45) записана для случая, когда нет распределенной нагрузки (а есть, например, только торцевая, которая учитывается статическими граничными условиями).

Проблема о деформировании пластин, податливых при трансверсальном сдвиге, с неклассическими граничными условиями слабо изучена. Поэтому соответствующую этой проблеме дифференциальную постановку в определенном смысле можно считать новой, а описанный вывод системы (45) вариационным способом – оригинальным.

Таким образом, сформированы системы уравнений равновесия и соответствующих им граничных условий

(37) и (45) для различных вариантов групп основных кинематических переменных. В первой системе – это u, v, w, θ_x и θ_y, во второй – u, v, w, ψ_x и ψ_y. Эти системы путем несложных преобразований сводятся одна к другой. Но они имеют самостоятельное значение в ряде случаев. Допустим, если задача расчета пластины решается приближенными методами, например, методом Бубнова–Галеркина. Тогда при выборе в качестве одних из основных переменных углов наклона сечения θ_x и θ_y (это имеет смысл сделать при классических вариантах граничных условий) следует работать с системой (37). Если же граничные условия нетрадиционные (защемление со свободным сдвигом или шарнирное опирание с фиксированным сдвигом), то системой (37) нельзя воспользоваться, а нужно рассматривать систему (45), и в качестве основных угловых кинематических переменных назначить ψ_x и ψ_y.

Библиографическая ссылка

1. Васильев В. В. Механика конструкций из композиционных материалов. М. : Машиностроение, 1988.

V. A. Nesterov, A. V. Lopatin

DERIVATION OF RESULTING EQUATIONS OF BALANCE OF A PLATE WITH LOW TRANSVERSE SHEAR STIFFNESS

A variational statement of a problem of deformation of a plate with low value of transverse shear stiffness is considered in this article. The derivation of the resulting equations of balance and natural boundary conditions is performed in two optional variants of the basic angular variables: surface normal tilting angles and transverse shear angles.

Keywords: plate, transverse shear.

© Нестеров В. А., Лопатин А. В., 2010

УДК 621.791.72

С. В. Суковатенко, Н. Н. Горяшин, В. Д. Лаптенок

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИСТОЧНИКА УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ НА БАЗЕ РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Предложена математическая модель высоковольтного источника ускоряющего напряжения для электронно-лучевой сварки на базе мостового резонансного преобразователя с коммутацией ключевого элемента при нуле напряжения. Данная модель позволяет проводить динамический анализ подобных систем при больших возмущающих воздействиях.

Ключевые слова: резонансный преобразователь напряжения, электронно-лучевая сварка.

Известно, что к высоковольтному источнику ускоряющего напряжения (ВИУН) для электронно-лучевой сварки (ЭЛС) предъявляются особые требования по стабилизации и регулированию выходного напряжения, устойчивости к высоковольтным пробоям в электронной пушке, работе в импульсных режимах сварки [1]. Для обеспечения требований, предъявляемых к современным установкам ЭЛС, в качестве ВИУН используют высокочастотные инверторные преобразователи напряжения (ПН). Динамические характеристики таких ПН, как правило, оказывают существенное влияние на качество процесса сварки, что приводит к постановке задачи по поиску оптимальных решений при синтезе таких преобразователей с позиции повышения энергетической и динамической эффективности.

В статье предлагается рассмотреть ВИУН для ЭЛС на базе мостового резонансного преобразователя с подключением нагрузки к конденсатору резонансного контура (рис. 1) и переключением силовых ключей при нулевом значении напряжения (ПНН) [2]. Для анализа динамических характеристик и возможности выбора законов регулирования при управлении сварочным процессом задача сводится к адекватному математическому моделированию основных режимов рассматриваемого ПН.

Использование вышеуказанной топологии ПН вызвано большим коэффициентом передачи высоковольтного повышающего трансформатора, который обусловливает большие значения паразитных межвитковых, межслойных и межобмоточных емкостей вторичной обмотки, а большие габариты значительно повышают индуктивность рассеяния. Поэтому резонансной емкостью $C_Р$ является паразитная емкость вторичной обмотки, пересчитанная к первичной обмотке, а резонансной индуктивностью $L_Р$ является индуктивность рассеяния первичной обмотки и

дополнительная индуктивность дросселя, вводимая для обеспечения требуемой резонансной частоты контура.

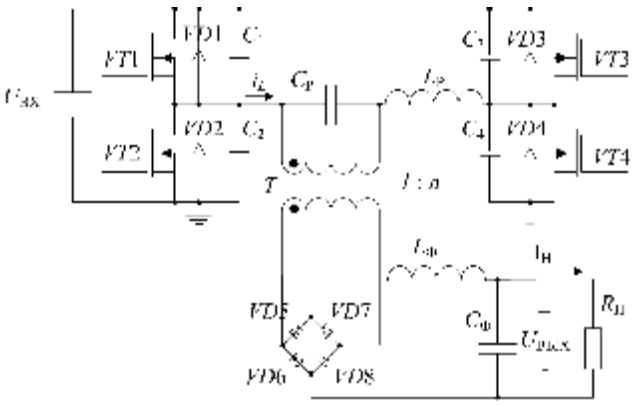


Рис. 1. Мостовой резонансный преобразователь напряжения с ПНН

Для анализа работы схемы необходимо сделать следующие допущения, принятые в работе [3]:

– элементы $VT1$–$VT4$, $VD1$–$VD4$, $L_р$, $C_р$, $L_ф$, $C_ф$ и трансформатор считаем идеальными;

– элементы выходного фильтра $L_ф$, $C_ф$ выбираем достаточно большими, чтобы пульсации на выходе ПН были в допустимых пределах;

– средний ток дросселя равен току нагрузки в установившемся режиме;

– частоту коммутации выбираем выше резонансной для обеспечения режима ПНН.

С этими допущениями один полупериод работы преобразователя в режиме непрерывного напряжения $U_{Cр}$ резонансного конденсатора можно разбить на 2 временных интервала (рис. 2), которые согласно [2] описываются кусочно-заданными функциями:

$$0 \le t < T_\alpha \begin{cases} u_{Cр}(t) = U_{вх} + \left[u_{Cр}(0) - U_{вх}\right] \times \\ \times \cos(\omega_0 t) + \left[i_L(0) + nI_н\right] Z_0 \sin(\omega_0 t); \\ i_L(t) = -nI_н + \left[i_L(0) + nI_н\right]\cos(\omega_0 t) - \\ -\dfrac{\left[u_{Cр}(0) - U_{вх}\right]}{Z_0} \sin(\omega_0 t); \end{cases} \quad (1)$$

$$T_\alpha \le t \le \frac{T_S}{2} \begin{cases} u_{Cр}(t) = U_{вх} - U_{вх}\cos(\omega_0(t - T_\alpha)) + \\ + \left[i_L(T_\alpha) - nI_н\right] Z_0 \sin(\omega_0(t - T_\alpha)); \\ i_L(t) = nI_н + \left[i_L(T_\alpha) - nI_н\right]\cos(\omega_0(t - T_\alpha)) + \\ + \dfrac{U_{вх}}{Z_0}\sin(\omega_0(t - T_\alpha)), \end{cases} \quad (2)$$

где $u_{Cр}(t)$ – напряжение на конденсаторе РК $C_р$; $i_L(t)$ – ток через индуктивность РК $L_р$; $U_{вх}$ – напряжение питания преобразователя; $I_н$ – ток нагрузки, $Z_0 = (L_р/C_р)^{0,5}$ – волновое сопротивление РК; ω_0 – резонансная частота РК; T_S – период коммутации, T_α – интервал времени, к моменту которого напряжение $u_{Cр}(t)$ достигает нулевого значения; n – коэффициент передачи трансформатора.

Переход между двумя интервалами происходит в момент времени T_α, когда напряжение на резонансном конденсаторе достигает нулевого значения и диоды $VD5$, $VD8$ начинают проводить, а диоды $VD6$, $VD7$ выключаются.

Резонансный контур (РК) возбуждается прямоугольными импульсами входного напряжения с частотой выше резонансной частоты контура. На первом полупериоде энергия, накопленная в контуре, возвращается в источник питания через открытые диоды $VD2$, $VD3$. Длительность открытого состояния диодов определяется временем достижения тока резонансного дросселя нулевого значения. При прохождении тока резонансного дросселя через нулевое значение выключаются антипараллельные диоды $VD2$, $VD3$ и включаются силовые транзисторы $VT1$, $VT4$ без потерь на переключение, поскольку шунтирующие конденсаторы $C1$, $C4$ полностью разряжены. С этого момента происходит нарастание тока резонансного дросселя и перезаряд резонансного конденсатора $C_р$. При выключении транзисторов $VT1$, $VT4$, в течение предусмотренной паузы между переключениями транзисторов [2], ток резонансного дросселя заряжает конденсаторы $C1$, $C4$ от нуля до напряжения питания и в то же время разряжает ранее заряженные конденсаторы $C2$, $C3$ от напряжения питания до нуля. При разряде конденсаторов $C2$, $C3$ до нуля открываются диоды $VD2$, $VD3$, и на РК подается прямоугольный импульс напряжения противоположной полярности. Далее процесс повторяется (рис. 3). Знакопеременное напряжение на конденсаторе РК через выпрямитель и двухполюсный LC-фильтр подается в нагрузку.

Таким образом, основываясь на принципе вольт-секундного баланса в дросселе фильтра $L_ф$ и учитывая, что падение на выходных диодах постоянно и равно U_{D5}, можем записать уравнение для выходного напряжения:

$$U_{вых} = \frac{2}{T_S}\int_0^{T_S/2} \left[\left|nu_{Cр}(t)\right| - 2U_{D_5}\right]dt. \quad (3)$$

Используя выражения (1), (2) и метод фазового пространства [4], можно вычислить интеграл (3) и получить статический нелинейный коэффициент передачи по на-

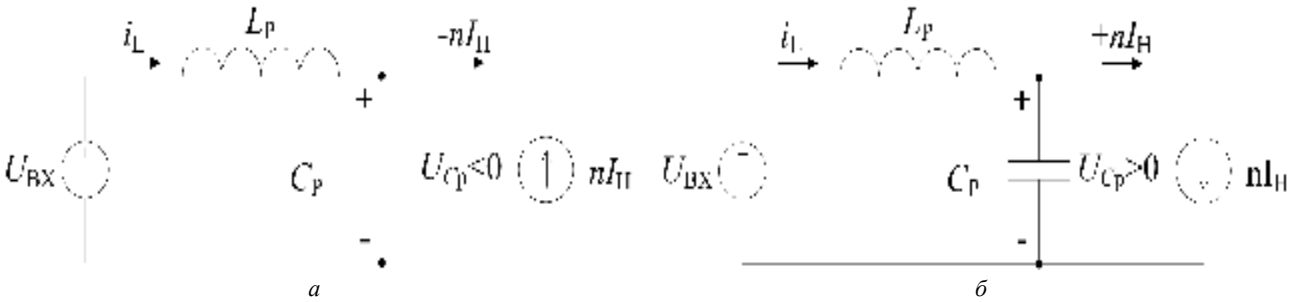


Рис. 2. Эквивалентные схемы преобразователя в течение двух интервалов одного полупериода: *а* – интервал времени от 0 до T; *б* – интервал времени от T_α до $T_S/2$

пряжению как функцию от среднего тока дросселя выходного фильтра, равного току нагрузки, и относительной частоты коммутации силовых транзисторов в установившемся режиме при прочих фиксированных параметрах (рис. 4):

$$K\left(I_{L\text{ф}},F\right)=\left[\begin{array}{l}\dfrac{\sqrt{1-\left[\dfrac{nI_{L\text{ф}}Z_0}{U_{\text{вх}}}\sin\left(\dfrac{\pi}{2F}\right)+\cos\left(\dfrac{\pi}{2F}\right)\right]^2}}{\cos\left(\dfrac{\pi}{2F}\right)}-\\ -\arccos\left[\dfrac{nI_{L\text{ф}}Z_0}{U_{\text{вх}}}\sin\left(\dfrac{\pi}{2F}\right)+\cos\left(\dfrac{\pi}{2F}\right)\right]\end{array}\right]\left(\frac{2F}{\pi}\right), \quad (4)$$

где $I_{L\text{ф}}$ – средний ток дросселя выходного фильтра, равный току нагрузки в установившемся режиме; $F = f_s/f_0$ – относительная частота коммутации; f_s – частота коммутации входного напряжения. Полученная функция приведена к удобному виду для решения поставленной задачи по сравнению с выражениями, приведенными в [3].

С учетом данного нелинейного коэффициента (4) выражение для выходного напряжения принимает следующий вид:

$$U_{\text{вых}} = K(I_{L\text{ф}}, F)n\cdot U_{\text{вх}}. \quad (5)$$

Анализ характеристик (рис. 4) показывает, что значение выходного напряжения будет существенно зависеть от тока нагрузки в установившемся режиме. Следовательно, для стабилизации выходного напряжения на заданном уровне в широком диапазоне нагрузок необходимо ввести контур отрицательной обратной связи по напряжению и изменять частоту коммутации входного напряжения в соответствии с функциональной схемой (рис. 5). Регулирование выходного напряжения в данной схеме осуществляется за счет изменения среднего значения напряжения на конденсаторе РК в зависимости от текущей частоты коммутации.

Для анализа поведения системы при больших возмущающих воздействиях на основании нелинейности коэффициента передачи (4) и модели выходного *LC*-фильтра [5] была синтезирована математическая модель ВИУН на базе резонансного преобразователя (рис. 6).

Результаты моделирования процессов в силовой части ВИУН без дополнительной коррекции с использованием полученной непрерывной нелинейной модели и имитационной модели, созданной в пакете Micro-Cap 9,0, приведены на рис. 7. В этом пакете были реализованы все функциональные узлы резонансного ПН (см. рис. 5) с применением известных схемотехнических решений и учетом динамических свойств реальных элементов. Это позволяет дать адекватную оценку точности синтезированной непрерывной нелинейной модели.

Основной сложностью при анализе и проектировании ВИУН сварочной электронно-лучевой пушки, как следует из формулы (4), является нелинейная зависимость выходных параметров системы от тока нагрузки (5), которая объясняется изменением добротности РК $Q = R_{\text{Н}}/Z_0$. Для решения данной проблемы применяют различные методы линеаризации, предложенные в [6–8]. Применимость данных методов ограничивается малой окрестностью рабочей точки установившегося режима. Однако анализ становиться более сложным при возникновении больших отклонений от рабочего режима. В общем, «малосигнальная» модель резонансного преобразователя не позволяет предсказывать поведение системы, а также ее стабильность в широком диапазоне нагрузок.

Решить данную проблему можно, если отталкиваться от наихудшего случая линеаризованного варианта представленной системы (рис. 8) с точки зрения запаса устойчивости. Для того чтобы определить такой случай, построим семейство логарифмических амплитудно-частотных и логарифмических фазово-частотных характеристик (ЛАЧХ и ЛФЧХ) линеаризованной системы (рис. 9). Таким образом, всегда можно подобрать такую точку линеаризации, которая будет являться некоторым граничным режимом данного ПН с минимальным запасом по фазе.

Данный метод оправдывается тем, что резонансный ПН, инерционная часть которого представлена колебательным звеном, имеет повышенные демпфирующие свойства, по сравнению с традиционными ПН с широтно-импульсной модуляцией, что повышает его устойчивость при замкнутом регулировании. Это в свою очередь подтверждается апериодическим переходным процессом (см. рис. 7).

На основании проведенных исследований и полученных результатов можно сделать следующие выводы:

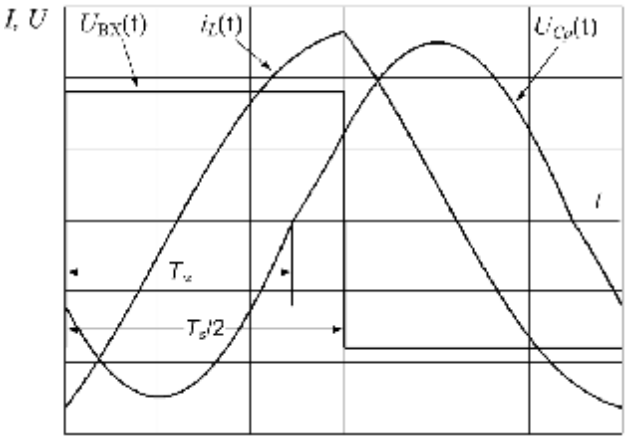


Рис. 3. Временные диаграммы работы резонансного преобразователя

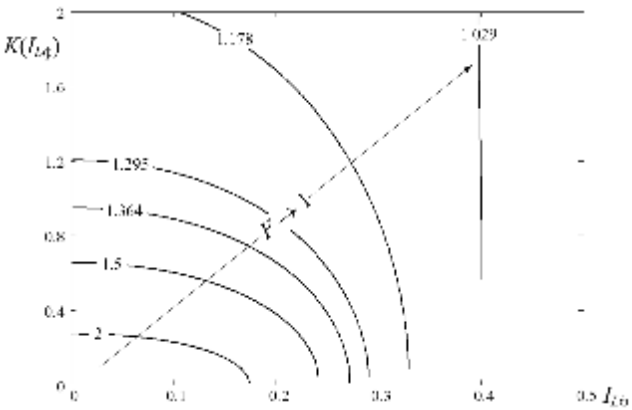


Рис. 4. Семейство характеристик, отображающих статическую зависимость коэффициента передачи резонансного преобразователя от среднего значения тока дросселя выходного фильтра при различных значениях относительной частоты коммутации *F*

– адекватность полученной модели при исследовании электромагнитных процессов преобразователя с использованием имитационной модели в формате P-Spice подтверждается высокой сходимостью с экспериментальными результатами при проектировании подобных систем;

– полученная математическая модель может быть использована для анализа динамических показателей качества ВИУН, построенного на базе мостового резонансного преобразователя с ПНН, и как основной инструмент методики выбора силовой части ВИУН и методики синтеза закона управления.

Библиографические ссылки

1. Электронно-лучевая сварка / О. К. Назаренко [и др.] ; под ред. Б. Е. Патона. Киев : Наук. думка, 1987.

2. Суковатенко С. В., Горяшин Н. Н., Лаптенок В. Д. Анализ коммутационных процессов в силовой части источника ускоряющего напряжения для электронно-лучевой сварки // Решетневские чтения : тез. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. С. 496–497.

3. Johnson S. D., Erickson R. W. Steady-state analysis and design of the parallel resonant converter // IEEE Trans. Power Electron. Vol. 3. 1988. № 4. P. 93–104.

4. Oruganti R., Lee F. C. State-Plane Analysis of the Parallel Resonant Converter // IEEE PESC Record. 1985. P. 56–73.

5. Dynamic analysis and control design of LCC resonant converter / E. X. Yang [et al.] // IEEE PESC. Vol. 1. 1992. P. 362–369.

6. Witulsky A. F., Hernandez A. F., Erickson R. W. Small Signal Equivalent Circuit Modeling of Resonant Converters // IEEE Trans. on Power Electronics. Vol. 6. 1991. № 1. P. 11–27.

7. Vorperian V. Approximate Small-Signal Analysis of the Series and Parallel Resonant Comerters // IEEE Trans. on Power Electronics. Vol. 4. 1989. № 1. P. 15–24.

8. Yang E. X., Lee F. C., Jovanovic M. M. Small-Signal Modeling of LCC Resonant Converter // IEEE PESC. 1992. P. 941–948.

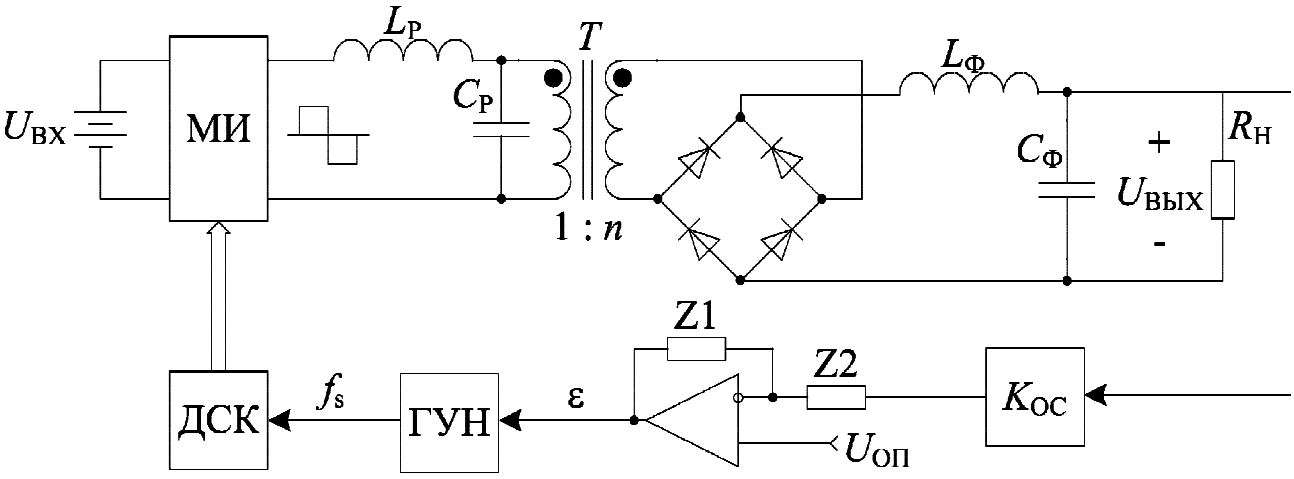


Рис. 5. Функциональная схема ВИУН на базе резонансного преобразователя: $K_{ОС}$ – коэффициент обратной связи; $U_{ОП}$ – опорное напряжение; ГУН – генератор, управляемый напряжением; ДСК – драйверы силовых ключей; МИ – мостовой инвертор; ε – сигнал ошибки

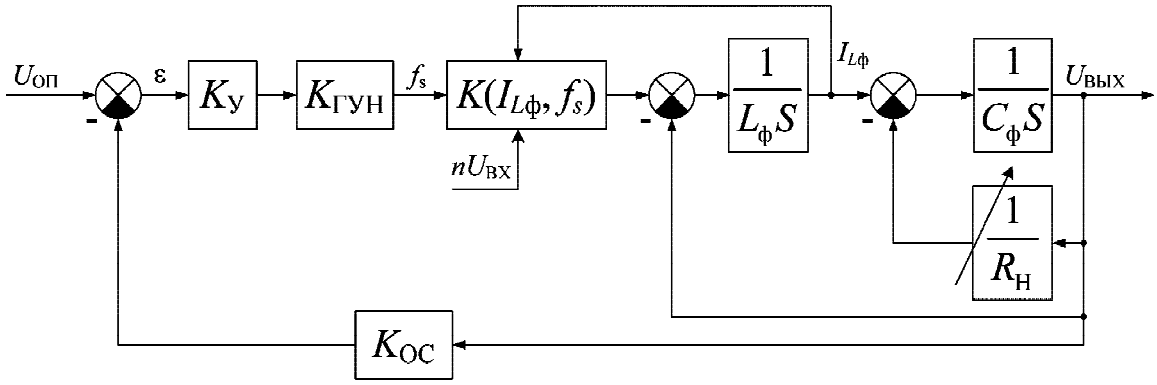


Рис. 6. Структурная схема непрерывной нелинейной модели ВИУН на базе резонансного преобразователя: $U_{ОП}$ – опорное напряжение, $K_{ОС}$ – коэффициент обратной связи; $K_У$ – коэффициент усиления операционного усилителя; $K_{ГУН}$ – коэффициент усиления генератора, управляемого напряжением

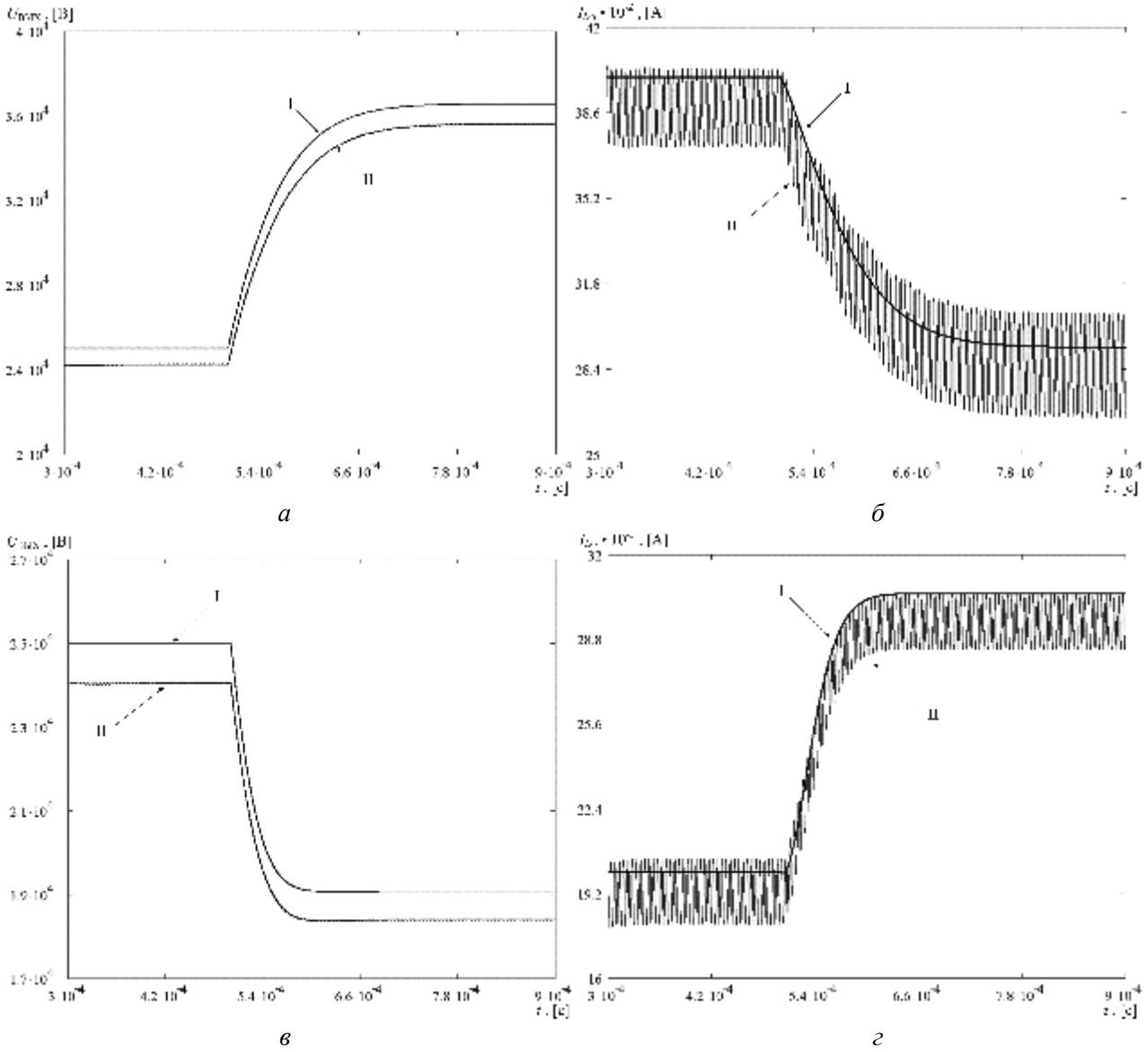


Рис. 7. Переходные процессы на выходе ВИУН на базе резонансного преобразователя при ступенчатом изменении сопротивления нагрузки от 62,5 до 125 кОм (*а–б*); от 125 до 62,5 кОм (*в–г*), полученные при помощи математического моделирования непрерывной модели (I) и имитационного моделирования в формате P-Spice (II)

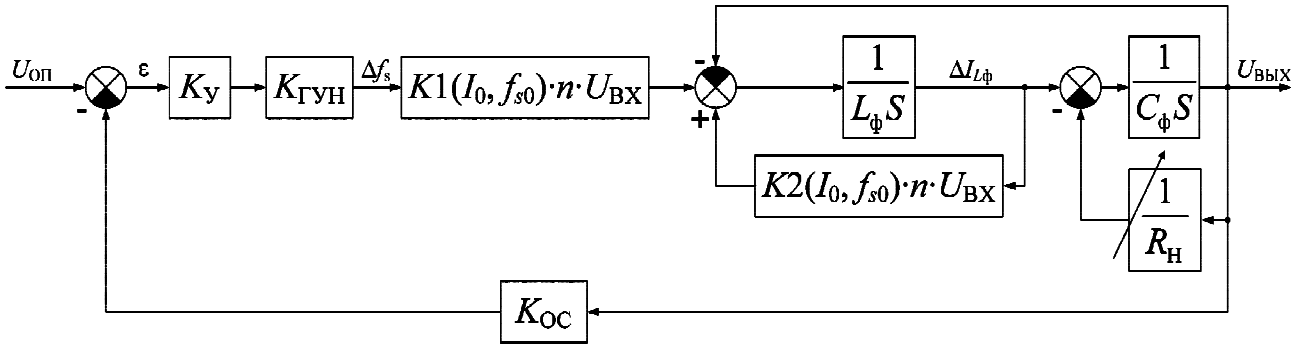
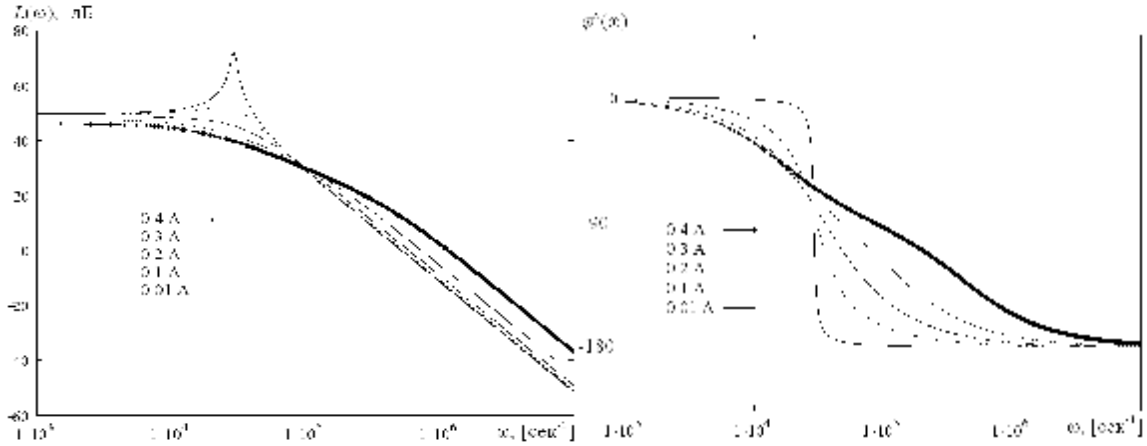


Рис. 8. Структурная схема непрерывной линеаризованной модели ВИУН на базе резонансного преобразователя: I_0 – ток нагрузки в установившемся режиме, в окрестности значения которого линеаризуется система резонансного ПН; f_{s0} – частота преобразования, соответствующая I_0; $\Delta I_{L\text{ф}}$ и Δf_s – малые приращения тока и частоты; $K1(I_0,f_{s0})$ – значение производной нелинейного коэффициента (4) по частоте преобразования в окрестности линеаризуемого значения; $K2(I_0,f_{s0})$ – значение производной нелинейного коэффициента (4) по среднему току дросселя в окрестности линеаризуемого значения



а *б*

Рис. 9. Семейство ЛЧХ линеаризованной системы для различных рабочих режимов без дополнительной коррекции: *а* – семейство ЛАЧХ; *б* – семейство ЛФЧХ

S. V. Sukovatenko, N. N. Goryashin, V. D. Laptenok

MATHEMATICAL MODELING OF HIGH-VOLTAGE ACCELERATING POWER SUPPLY FOR ELECTRON-BEAM WELDING BASED ON PARALLEL RESONANT CONVERTER WITH ZERO VOLTAGE SWITCHING

This article proposes mathematical model of high-voltage accelerating power supply for electron-beam welding based on parallel resonant converter with zero voltage switching which allows to carry out dynamic analysis of such systems under considerable exitations.

Keywords: parallel resonant converter, electron-beam welding.

© Суковатенко С. В., Горяшин Н. Н., Лаптенок В. Д., 2010

УДК 621.391

С. Н. Назаров, А. А. Шагарова

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА В ГИБРИДНОЙ СЕТИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Рассматриваются возможности реализации алгоритмов разнесенного приема в гибридных сетях беспроводной передачи информации. В основе алгоритмов разнесенного приема лежит тот факт, что при решении задач оптимальной обработки полей их корреляционные характеристики являются определяющими для описания как гауссовских, так и стохастических полей произвольного вида.

Ключевые слова: гибридная сеть беспроводной передачи информации, алгоритм разнесенного приема, коэффициент корреляции, оптимальный прием.

Дальнейшее развитие беспроводных сетей передачи информации заключается в обеспечении охвата абонентов различными телекоммуникационными услугами по принципу «где угодно, что угодно, когда угодно». Решать задачу построения такого вида сетей возможно на основе принципа конвергенции стандартов, обеспечивая совместимость по целям управления. Для обеспечения эффективной работы беспроводных сетей разработаны международные стандарты, протоколы и рекомендации, которые специфицируют физический уровень и уровень управления доступом (MAC): IEEE 802.15, 11, 16, 20, 21 сотовой и декаметровой радиосвязи. Применение совокупности данных стандартов позволяет строить гибридные сети беспроводной передачи информации (ГСБПИ), для этого необходимо решать множество задач, одной из которых является применение в ГСБПИ разнесенного приема.

Анализ способов разнесенного приема сигналов. Применение разнесенного приема сигналов в радиоканале является эффективным средством повышения достовер-

ности и надежности связи в условиях замирания сигнала и наличия аддитивных помех. Наибольший интерес вызывает пространственное разнесение приема сигнала, который заключается в приеме сигнала на разные антенны [1–8]. Для ГСБПИ можно рассмотреть следующие способы пространственного разнесения: прием на разные антенны одной базовой станцией в соте; прием на антенны разных базовых станций зоны обслуживания оператора сотовой связи; прием на антенны взаимосвязанных радиоцентров-ретрансляторов сети радиосвязи декаметрового (ДКМ) диапазона (рис. 1) [9–14].

Реализация алгоритмов разнесенного приема требует разработки мультидиапазонного коммуникатора, который в зависимости от запросов пользователей на качество обслуживания передаваемой в сети информации будет осуществлять подключение абонента к соответствующим сетям. Сложность решения этой задачи заключается в оборудовании для мобильного абонента. Поэтому идеальная область реализаций основных положений ГСБПИ – беспроводная авиационная электросвязь (БАЭС). Основной задачей, решаемой БАЭС, является обеспечение обмена информацией между диспетчерским пунктов (ДП) и находящимся в его зоне ответственности воздушным судном (ВС). Решения данной задачи в БАЭС реализуются сетями ДКМ-, УКВ-радиосвязи и сетью спутниковой связи. Для организации данных сетей ДП и ВС оснащаются соответствующими средствами радиосвязи. Авиационная воздушная связь (АВС) для управления воздушным движением (УВД) в районе аэродрома регламентированна и организуется в соответствии с принятой для данного аэродрома схемой управления воздушным движением. В районе аэродрома создаются радиосети диспетчерских пунктов: подхода (по количеству секторов); круга; взлета и системы посадки; стартового диспетчерского пункта; командно-диспетчерского пункта; руления; аварийно-спасательного пункта – общего для всех пунктов УВД. Анализ эффективности функционирования существующей сети УКВ-радиосвязи БАЭС осуществлялся на основе методики расчета ожидаемой вероятности радиосвязи, изложенной в [15].

Имитационная модель функционирования сети УКВ-радиосвязи разработана с использованием программной среды Any Logic версии 6.04. Значение уровня сигнала на приеме снижается с удалением ВС от диспетчерского пункта, однако на заданном расстоянии существующими средствами УКВ-радиосвязи обеспечивается требуемое значение сигнала (рис. 2). Таким образом, существующие сети УКВ АБС позволяют осуществить передачу информации, необходимую для управления воздушным судном. Однако в настоящее время система воздушного транспорта представляет собой множество авиакомпаний, которые конкурируют на рынке перевозок авиапассажиров. Одним из таких слагаемых успешной работы авиакомпании является предоставление авиапассажирам современных инфокоммуникационных услуг в реальном режиме времени. Такие возможности могут быть реализованы посредством внедрения элементов разнесенного приема сетей мобильной связи, широкополосного доступа на основе стандартов семейства IEEE 802.11, 802.16 в авиационную электросвязь (рис. 3).

АВС на воздушных трассах и местных воздушных линиях (МВЛ) организуется в соответствии с используемой схемой УВД для каждой воздушной трассы и МВЛ. Основными средствами обеспечения УВД на воздушных трассах и МВЛ являются средства радиосвязи того диапазона, который обеспечивает управление на всю глубину полета ВС в данных конкретных условиях. Для этого организуются следующие радиосети: для управления в зоне РЦ (по числу секторов) и вспомогательных центров – в диапазоне ОВЧ; воздушная связь в зоне РЦ в диапазоне ВЧ; дальняя связь в диапазоне ВЧ; аварийно-спасательная связь в диапазоне ОВЧ; радиосеть производственно-диспетчерской службы авиапредприятия в диапазоне ОВЧ. Радиосети дальней связи диапазона ВЧ организуются для связи с экипажами ВС, выполняющими дальние и международные полеты.

Анализ эффективности функционирования сети декаметровой радиосвязи был проведен согласно методике, рассмотренной в [15], на основе модели, разработанной в программной среде имитационного моделирования Any Logic версии 6.04. При повышении требований к достоверности передачи информации резко снижается вероятность осуществления радиосвязи в данном диапазоне (рис. 4). Для повышения эффективности СРС ДКМ Д в БАЭС предлагается использовать сеть взаимосвязанных радиоцентров-ретрансляторов, вынесенных за зону связи на

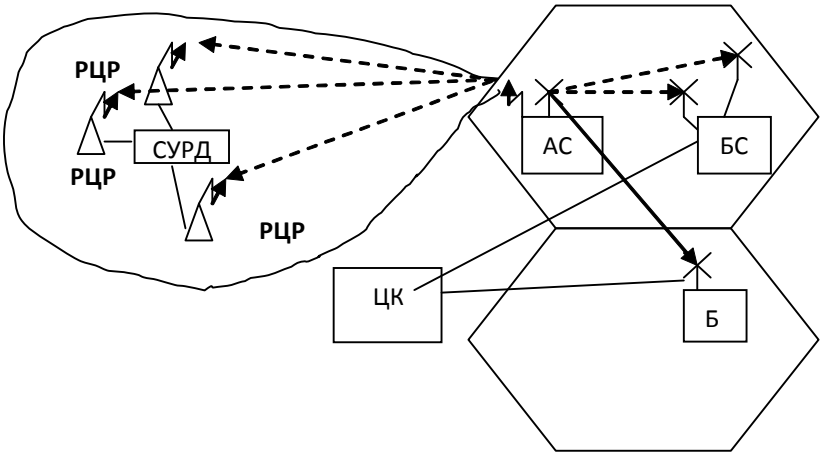
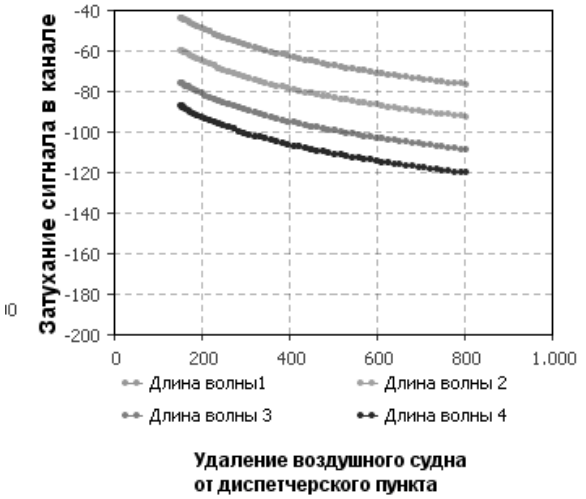
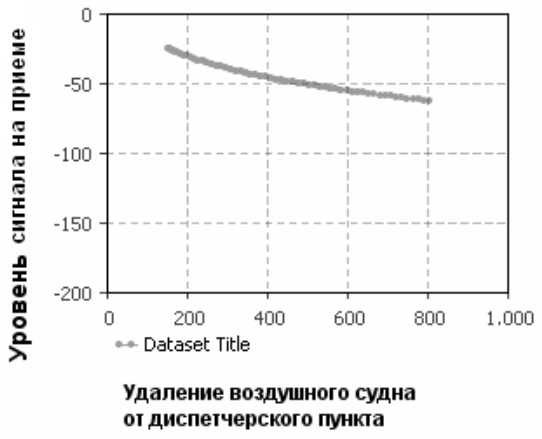


Рис. 1. Способы пространственного разнесения приема сигнала в гибридных сетях беспроводной передачи информации

расстояние более 2000 км и разнесенных в пространстве на расстояние не менее 250 км друг от друга, что обеспечивает низкий уровень пространственной корреляции значений отношения «сигнал–помеха» между ретранслято-рами (рис. 5). Применение вынесенных взаимосвязанных пространственно независимых точек приема позволяет повысить значения вероятностей радиосвязи по сравнению с использованием прямых каналов (рис. 6).



а



б

Рис. 2. Графики значений затухания сигнала в канале (*а*); уровня сигнала на входе приемника (*б*)

Рис. 3. Применение элементов сети широкополосного доступа в авиационной электросвязи

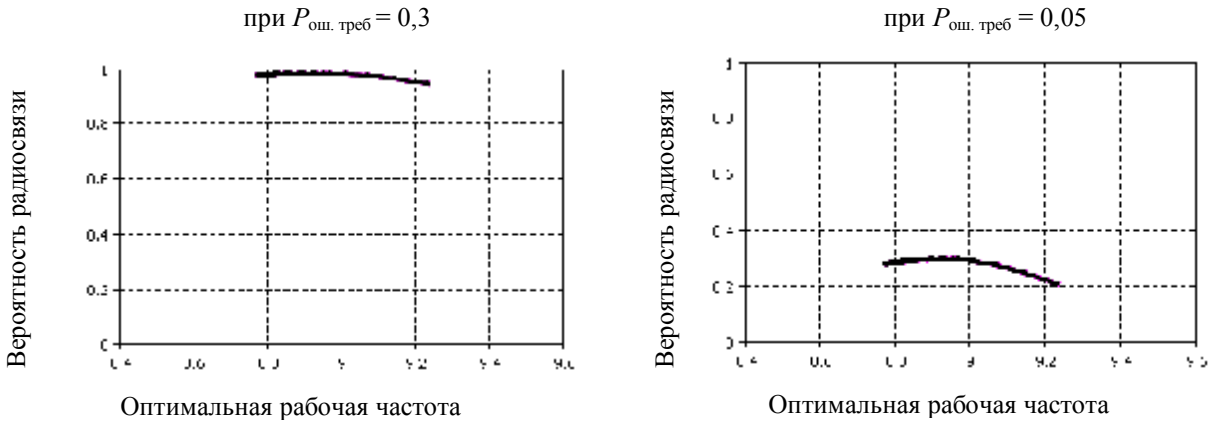


Рис. 4. Графики зависимостей значений вероятности радиосвязи от значений требуемой достоверности и оптимальной рабочей частоты в существующей сети ДКМ беспроводной авиационной электросвязи

Проведенный анализ эффективности функционирования современных сетей беспроводной связи и стандартов их построения показывает, что дальнейшим направлением развития беспроводной связи является создание ГСБПИ. На данном уровне развития электронной техники наибольшее применение ГСБПИ находит в БАЭС. Имитационное моделирование БАЭС показало, что внедрение ГСБПИ будет осуществляться на основе использования сети вынесенных радиоцентров-ретрансляторов, элементов широкополосного доступа, сети спутниковой связи.

Для снижения затрат на инфокоммуникационные услуги компаниям местных авиационных линий предлагается осуществлять построение беспроводной связи согласно структурной схеме (рис. 7). Борт воздушного судна рассматривается как единая локальная сеть, в которой функционируют места авиапассажиров и рабочие места пилотов. Из локальной сети воздушного судна пользователь может осуществлять доступ к ресурсам глобальных и корпоративных сетей в реальном режиме времени. Согласно запросу пользователя на вид услуги требуемого качества коммуникатор подключает его к соответствующей телекоммуникационной сети.

Библиографические ссылки

1. Попов В. И. Основы сотовой связи стандарта GSM. М. : Эко-Трендз, 2005.

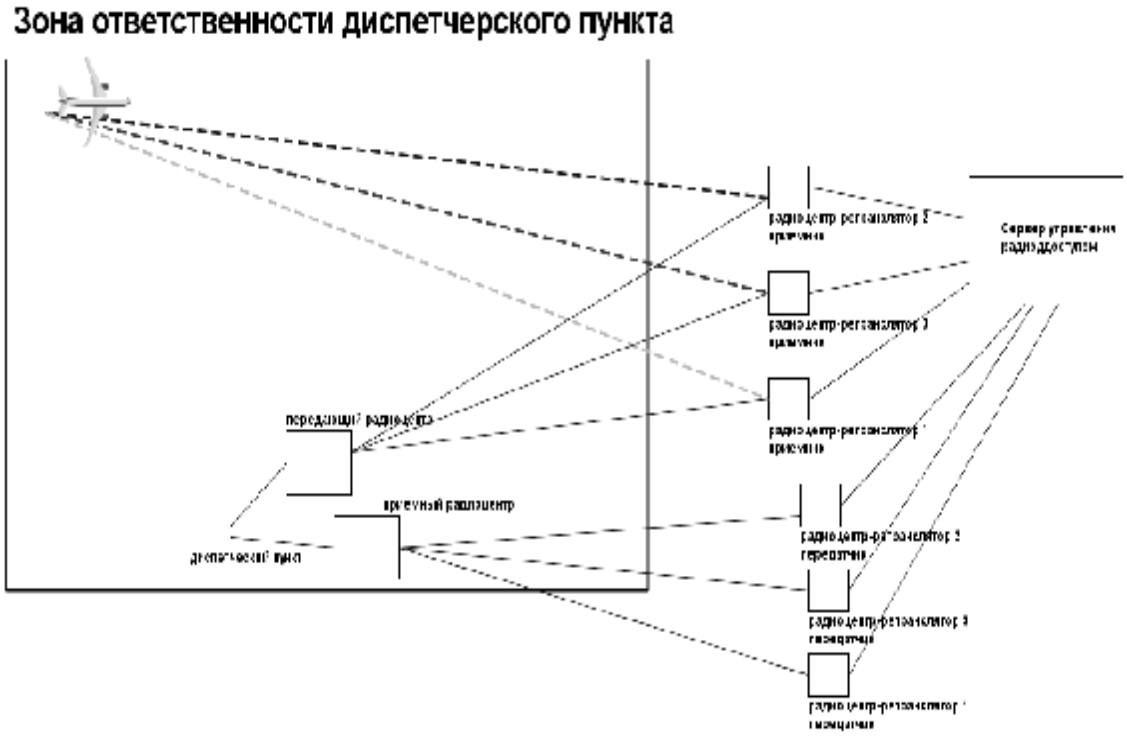
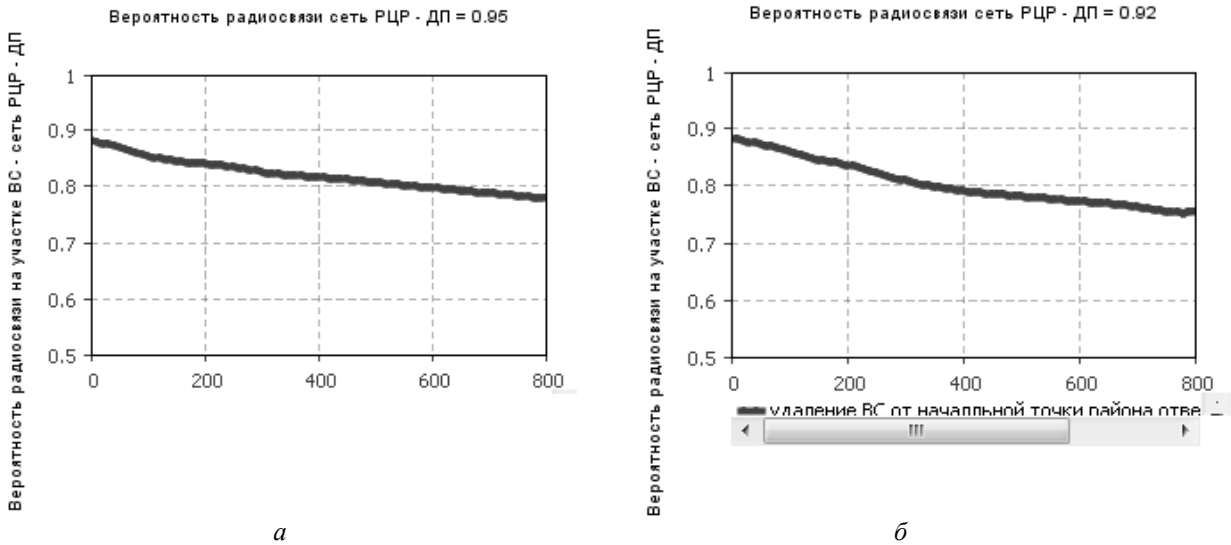


Рис. 5. Применение вынесенных взаимосвязанных радиоцентров-ретрансляторов в гибридной сети беспроводной передачи информации авиационной электросвязи



а *б*

Рис. 6. Графики значений вероятностей радиосвязи воздушного судна с диспетчерским пунктом при требуемой вероятности ошибки 0,01 (*а*); радиосвязи воздушного судна с диспетчерским пунктом при требуемой вероятности ошибки 0,03 (*б*)

2. Системы мобильной связи / Ипатов В. П. [и др.] ; под ред. В. П. Ипатова. М. : Горячая линия-Телеком, 2003.

3. Комашинский В. И., Максимов А. В. Системы подвижной связи с пакетной передачей информации. Основы моделирования. М. : Горячая линия-Телеком, 2007.

4. Ратынский М. В. Основы сотовой связи / под ред. Д. Б. Зимина. М. : Радио и связь, 1998.

5. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. М. Техносфера, 2006.

6. Назаров С. Н. Применение динамического программирования при распределении пространственного ресурса радиосвязи декаметрового диапазона // ИКТ. 2007. Т. 5. № 2. С. 70–74.

7. Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / под ред. О. В. Головина. М. : Горячая линия-Телеком, 2006.

8. Назаров С. Н. Общий подход к построению современных гибридных сетей беспроводной связи // Тр. Рос. науч.-техн. о-ва радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. Сер. «Научная сессия, посвящ. Дню радио». Вып. LXIV. 2009. С. 22–24.

9. Назаров С. Н. Использование стохастических моделей для оценки характеристик современной беспроводной сети передачи информации // Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем : тр. VI Всерос. науч.-практ. конф. (22–23 сент. 2009, г. Ульяновск) ; УлГТУ. Ульяновск, 2009. С. 170–174.

10. Назаров С. Н., Назаров А. С. Анализ методов моделирования беспроводной сети передачи информации // Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем : тр. VI Всерос. науч.-практ. конф. (22–23 сент. 2009, г. Ульяновск) ; УлГТУ. Ульяновск, 2009. С. 174–177.

11. Назаров С. Н. Применение элементов декаметровой радиосвязи в современных беспроводных сетях // Тр. Рос. науч.-техн. о-ва радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. Сер. «Цифровая обработка сигналов и ее применение». Вып. XI–1, 2009. С. 228–230.

12. Назаров С. Н. , Назаров А. С. Обобщенная модель беспроводной сети передачи информации авиационного предприятия // Современные научно-технические проблемы транспорта : сб. науч. тр. V Междунар. науч.-техн. конф. (15–16 октября 2009, г. Ульяновск) ; УлГТУ. Ульяновск, 2009. С. 108–111.

13. Назаров С. Н. Применение гибридной беспроводной сети передачи информации в автоматизированной

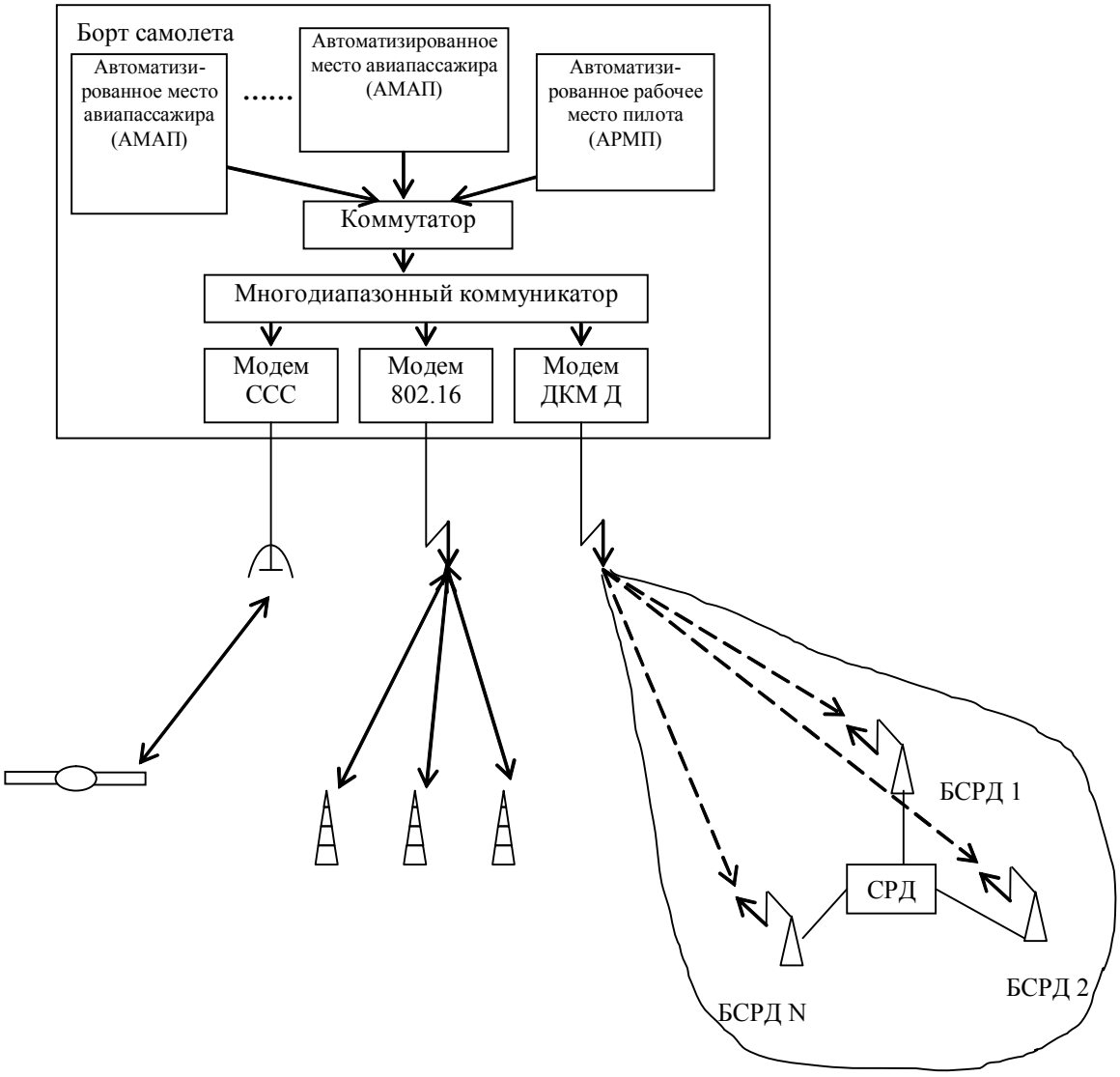


Рис. 7. Предлагаемая структура ГСБПИ авиационной электросвязи

системе управления воздушным движением // Современные научно-технические проблемы транспорта : сб. науч. тр. V Междунар. науч.-техн. конф. (15–16 окт. 2009. г. Ульяновск) ; УлГТУ. Ульяновск, 2009. С. 112–116.

14. Назаров С. Н. Основные положения методики определения места расположения сети удаленных взаимосвязанных радиоцентров-ретрансляторов // ИКТ. 2009. Т. 7. № 2. С. 79–82.

15. Прохоров В. К., Шаров А. Н. Методы расчета показателей эффективности радиосвязи. Л. : ВАС, 1990.

S. N. Nazarov, A. A. Shagarova

REALIZATION OF MECHANISM OF DIVERSITY RECEPTION IN HYBRID NETWORK OF WIRELESS INFORMATION TRANSMISSION

The article considers possibilities of realization of diversity reception algorithms in hybrid network of wireless information transmission. The basis of the diversity reception algorithms is that at the decision of problems of optimum processing of the fields, their correlation curves are determining for the description of Gaussian, as well as stochastic fields of a free-hand type.

Keywords: hybrid network of a wireless information transmission, algorithm of a diversity reception, correlation factor, optimum reception.

© Назаров С. Н., Шагарова А. А., 2010

УДК 538.945

В. В. Храпунова, Ю. С. Гохфельд, М. И. Петров

УВЕЛИЧЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПИННИНГА В СВЕРХПРОВОДНИКАХ $Y_{1-x}RE_xBA_2CU_3O_{7-\delta}$[1]

Исследовалось влияние допирования малыми концентрациями редкоземельных элементов La, Ce, Pr в сверхпроводнике $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на внутригранульный пиннинг. Магнитные и транспортные измерения показали, что максимальный пиннинг наблюдается при концентрации редкоземельных элементов, соответствующей среднему расстоянию между примесями, равному диаметру абрикосовских вихрей в YBCO.

Ключевые слова: высокотемпературные сверхпроводники, потенциал пиннинга, транспортные свойства, магнитные свойства.

Для широкого практического применения высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) крайне желательно повысить потенциал пиннинга абрикосовских вихрей, пожалуй единственный параметр по которому ВТСП уступают низкотемпературным сверхпроводникам. Увеличение потенциала пиннинга в ВТСП открывает дорогу к созданию эффективных экранов от магнитных и электромагнитных полей в устройствах, где это связано с надежностью оборудования и жизнеобеспечением персонала, например в космических пилотируемых аппаратах.

Увеличение потенциала пиннинга и критического тока в высокотемпературных сверхпроводниках структуры 1–2–3 достигается созданием в материале дополнительных дефектов, действующих как центры пиннинга. Основными способами создания дефектов являются облучение высокоэнергетическими частицами, введение наноразмерных примесей и химическое допирование [1–5]. В последнем случае предпочтительным является частичное замещение иттрия на редкоземельные элементы (RE) [3; 6–8], что приводит к некоторым искажениям кристаллической структуры и электронной плотности. Как правило, при исследовании редкоземельного замещения в $Y_{1-x}RE_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ использовались образцы с содержанием примесей x, кратным десяткам процентов. Было установлено, что наиболее заметное увеличение пиннинга наблюдается при малых ($x < 0{,}1$) концентрациях примесей [8].

Авторы статьи считают, что целесообразно выбирать концентрацию примесных атомов так, чтобы она была связана с параметрами кристаллической структуры. Концентрация RE может быть связана со средним расстоянием между примесными атомами D. Атомы иттрия в YBCO образуют плоскую решетку, для которой связь между x и D дается выражением $x = a^2/D^2$, где a – постоянная решетки в плоскости редкоземельных атомов. Удобно

[1] Настоящие исследования ведутся при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-209П).

переписать это выражение как $x = a^2/(na)^2 = 1/n^2$, где $n = D/a$. Таким образом, возможно выбрать концентрации x, соответствующие $n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, \infty$, т. е. чтобы расстояние D было кратно постоянной решетки a. Состав с $n = \infty$ соответствует обычному $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Такой выбор позволит проследить влияние среднего расстояния между примесными атомами на пиннинг в сверхпроводнике.

Для изучения влияния искажений локальной электронной плотности и кристаллической структуры исследовались серии YBCO, допированные Ce, Pr и La. Ионы Ce и Pr имеют валентность 4+ и 3–4+ и могут сильно искажать локальную электронную плотность в подрешетке редкоземельных элементов. У лантана валентность такая же, как у иттрия, и при допировании La искажений электронной плотности возникать не должно. Но возможны искажения кристаллической решетки, возникающие из-за большого атомного радиуса La.

В настоящей работе мы приводим результаты сравнительного исследования транспортных и магнитных свойств трех систем: $Y_{1-x}Ce_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и $Y_{1-x}La_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Были проведены измерения намагниченности и сопротивления образцов, что позволило сравнить внутригранульный пиннинг в составах с различными x. Для характеризации внутригранульного пиннинга использованы данные по намагниченности, измеренной при охлаждении в магнитном поле и без внешнего поля.

Эксперимент. Были синтезированы три серии образцов $Y_{1-x}RE_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ для RE = Ce, Pr, La. Каждая серия синтезировалась отдельно, методом твердофазного синтеза по 10 образцов с $x = 0{,}25$; 0,11; 0,062 5; 0,04; 0,027 8; 0,020 4; 0,015 6; 0,012 3; 0,01 и 0. Выбранные концентрации соответствуют $n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ и ∞. Реперные образцы с $x = 0$ ($YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$) синтезировались для каждой серии.

Исходные реактивы – Y_2O_3, CeO_2, Pr_6O_{11}, La_2O_3, CuO квалификации ХЧ, $BaCO_3$ и CuO квалификации ЧДА. Соответствующие количества реактивов тщательно смешивались в агатовой ступке, спрессовывались в таблетки и отжигались при температуре 930 °C. Общая продолжительность синтеза составляла 160 *h* с семью промежуточными помолами и прессованиями. Длительный синтез способствует замещению атомов редкоземельных элементов в позиции иттрия и равномерному распределению примесных атомов в подрешетке редкоземельных элементов. В конце синтеза образцы были отожжены при температуре 300 °C в течение 3 *h* и медленно охлаждены вместе с печью до комнатной температуры для насыщения кислородом.

Измерения температурной зависимости сопротивления образцов были проведены стандартным четырехзондовым методом на образцах прямоугольного сечения 2×1×10 мм, расстояние между потенциальными контактами составляло 2 мм.

Измерения магнитных характеристик проводились вибрационным магнетометром. Образцы изготавливались в форме цилиндра высотой 5 мм и диаметром 0,5 мм. Температурные зависимости намагниченности измерялись на образцах, охлажденных в магнитном поле Земли (M_{ZFC}) и в магнитном поле 100 Ое (M_{FC}). Измерения проводились при нагреве со скоростью 0,8 K/мин от 77,4 до 100 K для образцов $Y_{1-x}Ce_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и $Y_{1-x}La_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и от 55 до 100 K для образцов $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Магнитное поле 100 Ое прикладывалось параллельно оси цилиндрических образцов. Температура сверхпроводящего перехода T_c определялась из температурной зависимости намагниченности $M_{ZFC}(T)$, температура исчезновения сопротивления T_{c0} была определена из температурной зависимости сопротивления $R(T)$.

Результаты и обсуждение. Рентгенофазовый анализ показал, что все образцы серии $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ являются однофазными и имеют структуру 1–2–3. Для образцов $Y_{1-x}La_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ с большими концентрациями La ($x = 0{,}11$, $x = 0{,}25$) наблюдаются моноклинные искажения кристаллической решетки. Образцы $Y_{1-x}Ce_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ показывают структуру 1–2–3, при $x \le 0{,}024$. Так как церий плохо растворяется в YBaCuO, то при добавлении его в $Y_{1-x}Ce_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в количестве $x > 0{,}024$ выделяется фаза $BaCeO_3$.

Измеренные зависимости $R(T)$ являются типичными для поликристаллических сверхпроводников. На $R(T)$ имеется участок резкого падения сопротивления при $T = T_c$, соответствующий внутригранульному сверхпроводящему переходу и плавный участок уменьшения сопротивления до нуля в T_{c0}, отражающий переход джозефсоновской среды, сформированной межгранульными границами. Выше T_c характер зависимостей в основном металлический. Исключением является $Y_{0,75}La_{0,25}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, для которого выше температуры перехода зависимость $R(T)$ имеет квазиполупроводниковый характер. Это может быть следствием того, что при больших концентрациях La частично занимает позиции Ba [9]. Зависимости $R(T)$ показывают, что Pr гораздо сильнее подавляет сверхпроводимость, чем Ce или La. Критическая температура T_c образцов практически не зависит от концентрации RE, при $x < 0{,}062\,5$ ($n > 4$).

Степень влияния примесей RE на межгранульные границы в YBCO можно оценить из сравнения ширины сверхпроводящего перехода $T_c - T_{c0}$ образцов. Для сравнения образцов с разными концентрациями RE и разными T_c, мы рассматривали приведенную ширину сверхпроводящего перехода $(T_c - T_{c0})/T_c$. Приведенная ширина перехода $(T_c - T_{c0})/T_c$ образцов как функция от n представлена на рис. 1. Для составов $x \le 0{,}04$ ($n \ge 5$) изменение $(T_c - T_{c0})/T_c$ составляет менее 4 %. Это свидетельствует, что допирование YBCO редкоземельными элементами не оказало существенного влияния на межгранульные границы при данных концентрациях.

Измеренные полевые зависимости намагниченности $M(H)$ образцов имеют вид, характерный для поликристаллических сверхпроводников. Высота петли ΔM в нулевом поле практически одинакова для зависимостей, измеренных в полях до 200 и 1 000 Ое. В работе [10] описан метод, позволяющий оценить отдельно внутригранульные и межгранульные критические токи из кривых $M(H)$, измеренных до различных значений максимального магнитного поля. Однако из-за несимметричности петель $M(H)$ в больших H применение модели Бина для оценки критического тока и метода [10] в данном случае является некорректным [11].

Температурные зависимости намагниченностей $M_{FC}(T)$ и $M_{ZFC}(T)$ образцов в поле 100 Ое изображены на рис. 2–4.

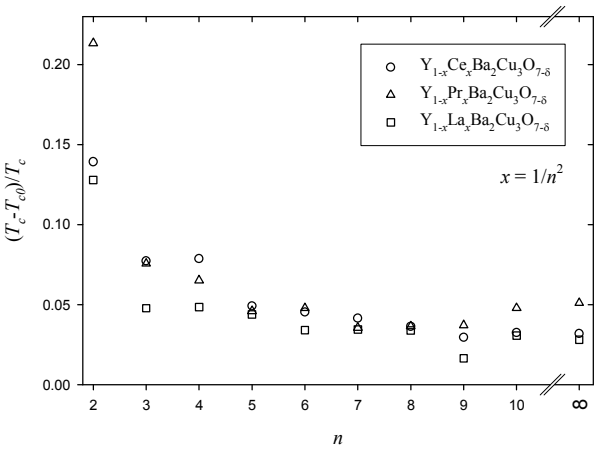


Рис. 1. Нормированная ширина сверхпроводящего перехода $(T_c - T_{c0})/T_c$ для образцов $Y_{1-x}RE_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

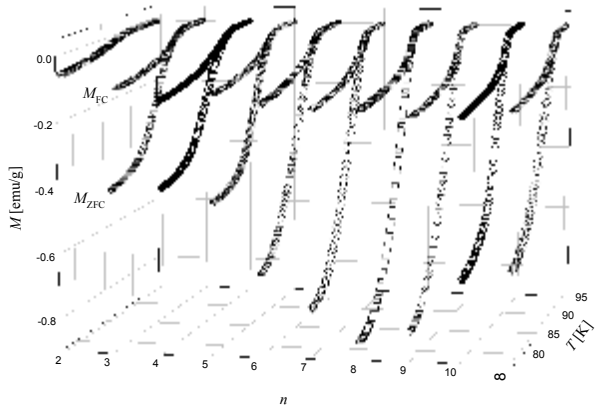


Рис. 2. Температурная зависимость намагниченности образцов $Y_{1-x}Ce_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, охлажденных в магнитном поле $M_{FC}(T)$ и без поля $M_{ZFC}(T)$

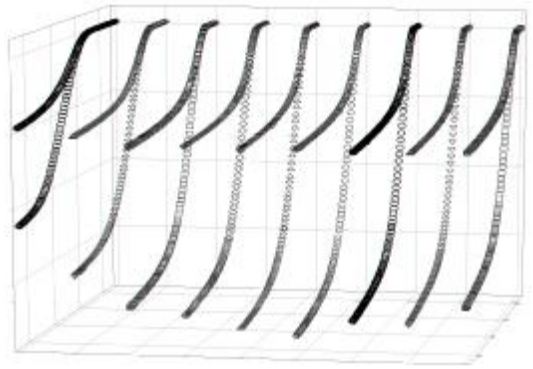


Рис. 3. Температурная зависимость намагниченности образцов $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, охлажденных в магнитном поле $M_{FC}(T)$ и без поля $M_{ZFC}(T)$

Рисунки, представленные в статье, демонстрируют, что абсолютные значения намагниченности, измеренной при охлаждении без поля, очень чувствительны к содержанию RE. Образец $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ с $x = 0$ имеет меньшие абсолютные значения $M_{ZFC}(T)$, чем образцы $Y_{1-x}La_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и $Y_{1-x}Ce_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ с $x = 0$. Причиной этого, так же как и слабого разброса T_c образцов разных серий с $x = 0$, может быть различие в содержании кислорода в разных сериях образцов.

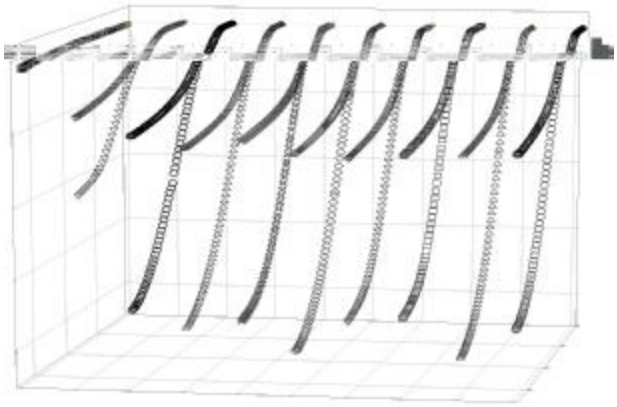


Рис. 4. Температурная зависимость намагниченности образцов $Y_{1-x}La_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, охлажденных в магнитном поле $M_{FC}(T)$ и без поля $M_{ZFC}(T)$

Измеренные зависимости $M_{FC}(T)$ и $M_{ZFC}(T)$ дают информацию о том, как содержание RE влияет на внутригранульный пиннинг в $Y_{1-x}RE_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Разница между намагниченностями образца M_{FC} и M_{ZFC} монотонно зависит от энергии пиннинга [12]. Влияние межгранульного пиннинга на зависимости $M_{FC}(T)$ и $M_{ZFC}(T)$ мало, вследствие сильного депиннинга в межгранульных границах при охлаждении [13]. Таким образом, величина $\Delta M = M_{FC} - M_{ZFC}$ отражает внутригранульный пиннинг. Величина ΔM для образцов как функция от n при $T = 77{,}4$ K представлена на рис. 5.

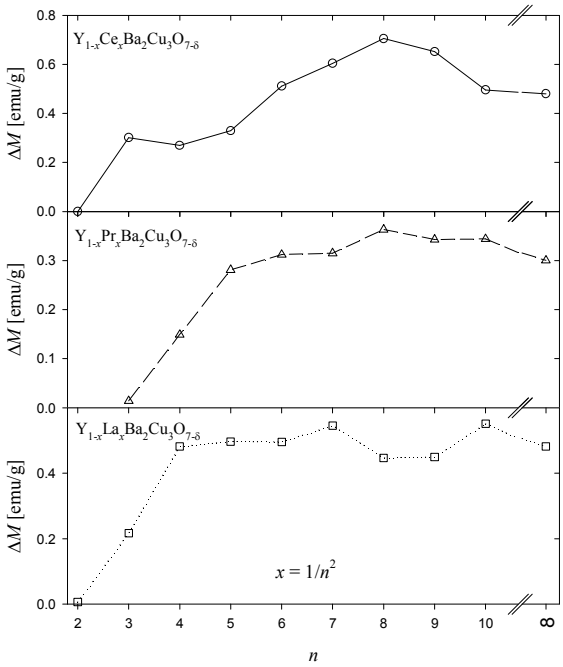


Рис. 5. Разность намагниченностей $\Delta M = M_{FC} - M_{ZFC}$ образцов $Y_{1-x}RE_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в 77,4 K

Характер зависимости $\Delta M(n)$ не изменяется при других температурах $T < T_c$. Для образцов $Y_{1-x}Ce_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и $Y_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ величина ΔM максимальна при $n = 8$ ($x = 0{,}015\,6$). Этот максимум соответствует среднему расстоянию между примесными атомами D, равному $8a$.

Для YBCO $a = 0{,}382$ нм, следовательно $D = 3{,}06$ нм. Такая величина D соизмерима с длиной когерентности в YBCO $\xi_0 \sim 1{,}5$ нм [14; 15]. По нашему мнению, это указывает на то, что энергия пиннинга наибольшая, когда среднее расстояние между дефектами равно диаметру абрикосовских вихрей. Пиннингующими дефектами являлись локальные искажения электронной плотности, образованные редкоземельными ионами с валентностью, большей чем +3.

Для серии $Y_{1-x}La_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ не наблюдается явного максимума на кривой $\Delta M(n)$. По-видимому, искажения кристаллической структуры, возникающие из-за того, что размеры атомов La больше, чем размеры атомов Y, не служат центрами пиннинга для вихрей.

Исследования транспортных и магнитных свойств образцов $Y_{1-x}RE_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ показали, что допирование редкоземельными атомами с валентностью большей +3 в малых концентрациях увеличивает внутригранульный пиннинг. Концентрация RE $x = 0{,}015\ 6$, при которой наблюдается максимальный пиннинг в слабом магнитном поле, одинакова для YBCO, допированного Ce или Pr. Эта концентрация соответствует среднему расстоянию между примесными атомами равному 3,06 нм, что коррелирует с длиной когерентности в YBCO. Следовательно, для практического использования ВТСП в качестве экранирующего покрытия от магнитного и электромагнитного полей составы $Y_{0,985}(Pr, Ce)_{0,015}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ более эффективны, чем классический сверхпроводник $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Авторы благодарят Д. А. Балаева, Д. М. Гохфельда, С. И. Попкова и К. А. Шайхутдинова за проведенные измерения и обсуждение результатов.

Библиографические ссылки

1. Paulius L. M., Almasan C. C., Maple M. B. // Phys. Rev. 1993. B 47, 11627.
2. Skakle J. M. S. // Materials Science & Engineering R-Reports. 1998. 23, 1.
3. Harada T., Yoshida K. // Physica. 2002. C 383, 48.
4. Harada T., Yoshida K. // Physica. 2003. C 387, 411.
5. Xing J. H., Xu S., Lu X. M., Qian B. [et al.] // International Journal of Modern Physics B. 2007. 21, 3180.
6. MacManus-Driscoll J. L., Foltyn S. R., Jia Q. X. [et al.] // Appl. Phys. Lett. 2004. 84, 5329.
7. Kell J. W., Haugan T. J., Locke M. F. [et al.] // IEEE Trans. Appl. Supercond. 2005. 15, 3726.
8. Barnes P. N., Kell J.W., Harrison B. C. [et al.] // Appl. Phys. Lett. 2006. 89, 012503.
9. Gantis A., Calamiotou M., Palles D. [et al.] // Phys. Rev. 2003. B 68, 064502.
10. Müller K. H., Andrikidis C., Liu H. K. [et al.] // Phys. Rev. 1994. B 50, 10218.
11. Y. Yeshurun, A.P. Malozemoff, A. Shaulov, Rev. Mod. Phys. 1996. 68, 911.
12. Малоземофф А. П. Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников / под ред. Д. М. Гинзберга. М. : Мир, 1990.
13. Jung J., Mohamed M. A-K., Isaac I. [et al.] // Phys. Rev. 1994. B 49, 12188.
14. Горьков Л. П., Копнин Н. Б. // УФН. 1988. 156, 117.
15. Larbalestier D., Gurevich A., Feldmann D. M. [et al.] // Nature. 2001. 414, 368.

V. V. Khrapunova, Yu. S. Gokhfeld, M. I. Petrov

PINNING ENHANCEMENT IN $Y_{1-X}RE_XBA_2CU_3O_{7-\delta}$ SUPERCONDUCTORS

The intragrain pinning in high-Tc superconductor compounds $Y_{1-x}RE_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ with low concentration of RE (La, Ce, Pr) was investigated. Magnetic and transport measurements reveal that the pinning is maximal for the concentration of RE such that the average distance between the impurity ions are close to the diameter of Abrikosov's vortices in YBCO.

Keywords: high-temperature superconductors, pinning potential, transport properties, magnetic properties.

© Храпунова В. В., Гохфельд Ю. С., Петров М. И., 2010

УДК 621.396:531.395

Н. А. Бей, В. Н. Зимин, А. В. Крылов, В. Е. Мешковский, С. А. Чурилин

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ РАКРЫВАЮЩЕЙСЯ БОРТОВОЙ МНОГОЛУЧЕВОЙ АНТЕННЫ

Рассмотрен вариант отечественной бортовой многолучевой антенны для системы спутниковой связи геостационарного космического аппарата. Приведены результаты численной оптимизации формы поверхностей зеркал и анализа основных прочностных параметров конструкции модуля многолучевой антенны с учетом динамических нагрузок, действующих при выводе на орбиту.

Ключевые слова: антенна, модуль, зеркало, модель, композит.

Бортовые многолучевые антенны (МЛА) используются практически во всех современных зарубежных ретрансляторах, в частности, в Anik-F2, Thaicom-4 и др. Установленные на таких ретрансляторах антенны имеют большие размеры и являются очень дорогими системами, во многом определяющими стоимость всего бортового ретрансляционного комплекса (БРТК). Их применение оправданно в тех случаях, когда БРТК предназначен для межконтинентальной связи. Для обеспечения связи в пределах территории России можно использовать антенны меньших размеров [1]. При проектировании МЛА за основу принята двухзеркальная антенная система с многоэлементным облучателем. Учитывая достаточно большой угол отклонения парциального луча в меридиональной плоскости, в качестве расчетной модели антенны принята зеркальная система апланатического типа. Устранение аберраций для отклоненных лучей достигается применением специальной формы зеркал.

В проектируемой антенне ширина сектора сканирования в одной плоскости (меридиональной) должна превосходить ширину сектора в ортогональной плоскости примерно в 5 раз. В этом случае хорошие характеристики можно получить, применяя зеркала тороидального типа. У двухзеркальной антенны с зеркалами тороидального типа сектор сканирования вытянут в плоскости, ортогональной оси тороида. Главное зеркало в плоскости оси тороида описывается кривой четвертого порядка, близкой по форме к параболе, а сечение вспомогательного зеркала в этой плоскости близко по форме к эллипсу, один из фокусов которого близок к фокусу параболы сечения главного зеркала. В целом, вспомогательное зеркало имеет отрицательную гауссову кривизну, а характеристики такой антенны сочетают в себе свойства как антенны Кассегрена, так и антенны Грегори.

Вспомогательное зеркало не затеняет апертуру главного зеркала, а решетка облучателей, формирующих многолучевую диаграмму направленности (ДН), размещена вблизи края главного зеркала, ближайшего к вспомогательному. Главное зеркало ограничено контуром сечения тороида плоскостью апертуры. Оси тороидальных главного и вспомогательного зеркал предполагаются параллельными. Размеры, форма и расположение зеркал и решетки облучателей оптимизированы по минимуму аберраций и кросс-поляризации в секторе сканирования с учетом сохранения усиления каждого луча на уровне усиления параболической антенны с апертурой диаметром 1 600 мм.

Контуры лучей в проекции на карту России представлены на рис. 1. При этом предполагается, что МЛА установлена на геостационарном спутнике (рис. 2) в точке стояния 90° в. д., а оси тороидов главного и вспомогательного зеркал наклонены к оси Земли на 7,5° для отклонения лучей от плоскости экватора к северу. Расчеты соответствуют тороидальной антенне с главным зеркалом диаметром 1 600 мм, работающей в K_u-диапазоне частот. Контуры 32-х лучей создаются 32-мя излучателями решетки облучателей. Лучи антенны неосесимметричны, их ширина больше в плоскости, проходящей через ось тороида, и меньше в ортогональной плоскости.

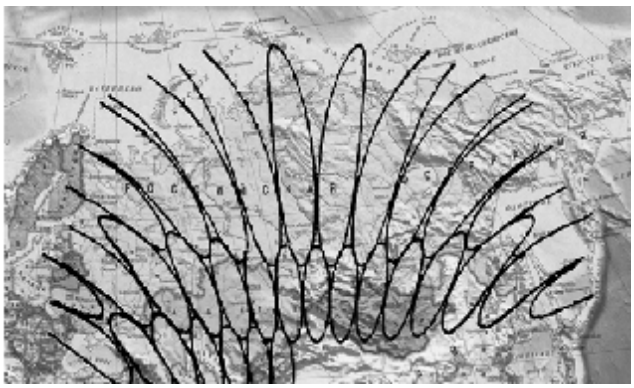


Рис. 1. Контуры лучей в проекции на карту России

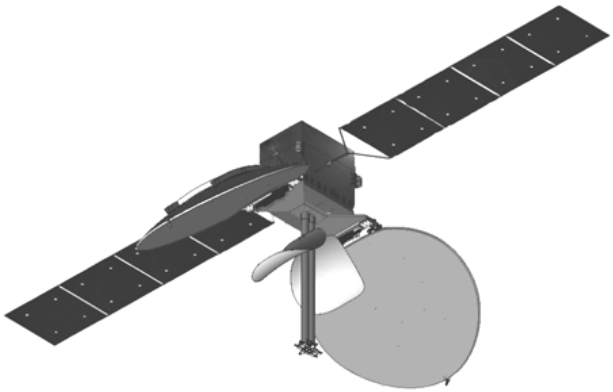


Рис. 2. Геостационарный спутник с бортовой МЛА

МЛА для космического аппарата имеет различные конфигурации в транспортном и рабочем состоянии на орбите. Для размещения МЛА под обтекателем ракеты-носителя трансформируемые элементы антенны должны быть определенным образом уложены в компактное транс-

портное положение. С целью оптимизации параметров приемо-передающей МЛА предлагается применить два практически идентичных по схеме построения и конструкции антенных модуля – приемный и передающий. Габаритные размеры модуля МЛА в транспортном положении составляют 680×1 637×1 684 мм, а в рабочем раскрытом состоянии он имеет размеры 1 917×1 638×1 684 мм. В состав модуля входят: облучатель, большое и малое зеркала, рама крепления, стойка для крепления малого зеркала и устройства раскрытия и фиксации большого зеркала в рабочем и транспортном положениях. После выведения космического аппарата (КА) на геостационарную орбиту трансформируемый элемент конструкции МЛА (большое зеркало антенны) раскрывается по заданной программе. В процессе движения трансформируемого элемента конструкции МЛА происходит его фиксация в рабочем положении, при этом раскрытие может выполняться как принудительно, с помощью электропривода, так и за счет потенциальной энергии, запасаемой в различного рода пружинах. Малое зеркало является неподвижным и закреплено на стойке в своем рабочем положении. Стойка крепления малого зеркала представляет собой трубчатый стержень длиной 1 585 мм, внешним диаметром 75 мм и толщиной стенки 3 мм. В транспортном состоянии большое зеркало антенны находится в пределах зоны полезной нагрузки под обтекателем ракеты-носителя (РН). Рама крепления большого зеркала представляет собой сборную конструкцию из двух продольных и двух поперечных ребер. Все элементы конструкции рамы представляют собой профили в виде швеллеров. Жесткость и прочность элементов антенны на участке ее выведения на геостационарную орбиту в составе КА, когда действуют максимальные механические перегрузки, обеспечивает также замок зачековки, входящий в устройство фиксации.

Основными требованиями к материалам, из которых предполагается выполнить элементы антенного модуля, являются стабильность размеров зеркал при эксплуатации, включая широкий диапазон температур; прочность элементов конструкции МЛА; жесткость и отсутствие собственных частот упругих колебаний в заданной рабочей полосе.

Конструкция наиболее сложных и ответственных элементов антенного модуля – зеркал МЛА – должна удовлетворять всем этим требованиям и при этом иметь минимальную массу. В качестве материала для термостабильных элементов конструкции (зеркала, рама, стойка) предлагается использовать композитные материалы на основе углепластика.

При проработке конструкции МЛА были проведены расчеты прочностных характеристик элементов модуля МЛА, сделан выбор и расчет размеростабильности в полосе рабочих температур материала, из которого возможно изготовление элементов модуля, определены частоты и формы собственных упругих колебаний модели модуля МЛА. Для выполнения прочностных расчетов модуля МЛА построена конечно-элементная модель модуля МЛА. На основе данной модели разработана программа, позволившая провести подробный анализ процессов деформирования и разрушения многослойных композитов, а также построить диаграммы деформирования и поверхности прочности композитов при одно- и двухосном нагружении. С помощью программы можно определить причины начального и окончательного разрушения материалов. Для прочностных расчетов при заданных перегрузках использовался конечно-элементный программный комплекс MSC Patran-Nastran.

Основным условием проектирования размеростабильных композитных конструкций является определение таких структурных параметров композита, которые обеспечивают равенство нулю тех или иных компонент вектора деформаций при температурных воздействиях. При больших температурных интервалах необходимо учитывать как температурные зависимости коэффициента линейного термического расширения (КЛТР), так и жесткостные (прочностные) характеристики композита. В этом случае при расчете использовались пошаговые процедуры с кусочно-линейной аппроксимацией температурных деформаций на каждом шаге по температуре. При этом задача поиска оптимальных сочетаний свойств композитной конструкции принципиально не усложняется; необходимо лишь использовать вместо текущих значений КЛТР соответствующие интегральные характеристики для данного температурного диапазона.

Одним из основных факторов, определяющих геометрические размеры рамы крепления большого зеркала и стойки крепления малого зеркала, являются инерционные нагрузки, действующие на модуль МЛА в процессе вывода КА на орбиту. Из расчета на прочность на данный вид нагружения определялись необходимые размеры рамы и стойки. Величины инерционных нагрузок обусловлены осевой и боковой перегрузками РН. На основе анализа значений перегрузок для различных РН следует, что их максимальные значения в осевом направлении составляют 9 единиц, а боковой – 2 единицы.

Распределение максимальных значений напряжений σ_{11} и σ_{22} в обшивках большого зеркала МЛА для осевой перегрузки 9 g и боковой 2 g, рассчитанных с использованием конечно-элементного программного комплекса MSC Patran-Nastran, показано на рис. 3. Максимальные значения напряжений растяжения σ_{11} = 4,72 МПа и σ_{22} = 4,89 МПа действуют в области опорного узла устройства фиксации. В этой же области максимальными являются напряжения σ_{12} = 1,37 МПа.

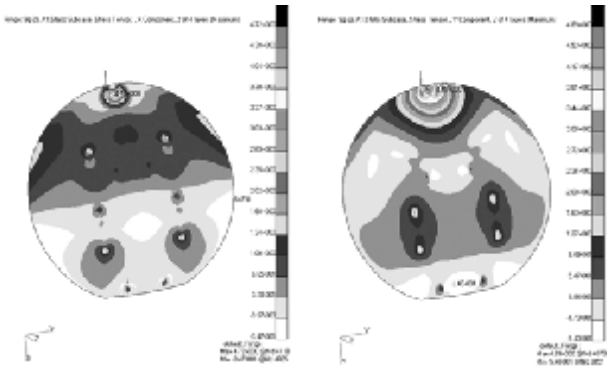


Рис. 3. Распределение максимальных напряжений σ_{11} σ_{22} в большом зеркале модуля МЛА

Конечно-элементный программный комплекс MSC Patran-Nastran позволил рассчитать первые десять час-

тот и форм собственных колебаний модели модуля МЛА в транспортном и рабочем положениях. Одна из форм собственных колебаний показана на рис. 4 (нейтральное и два крайних положения деформируемых элементов по данному тону колебания). В основном, формы собственных колебаний в транспортном положении модуля МЛА обусловлены колебаниями большого зеркала.

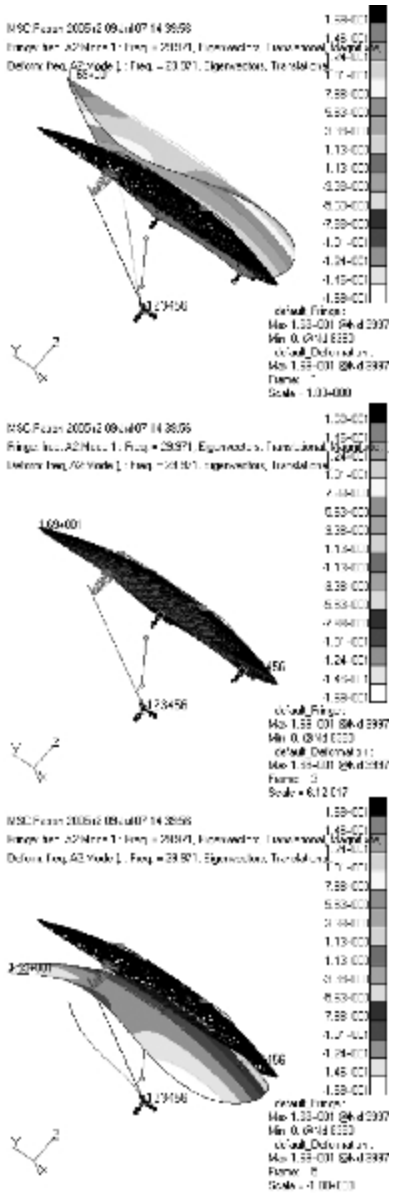


Рис. 4. Форма собственных колебаний, соответствующая 30 ГГц

На основе результатов расчета изготовлены макеты элементов конструкции модуля МЛА (рис. 5). В качестве композиционной структуры использована углеродная лента ЛУ-П/0.1А ГОСТ 28006–88 и модифицированный эпоксидный связующий клей ЭНФБ ТУ 1-596-36-98 с толщиной монослоя 0,11…0,13 мм. Массовые характеристики модуля МЛА: большое зеркало 8,5 кг, малое зеркало 2,5 кг.

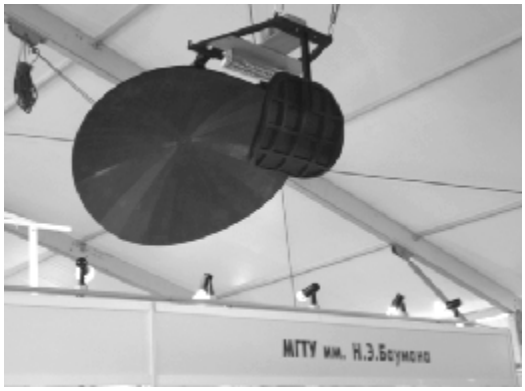


Рис. 5. Экспериментальный образец МЛА

Разработка МЛА для отечественных КА – одна из самых актуальных современных задач российской системы спутниковой связи, решение которой позволит получить совершенно новое качество услуг связи и коммуникаций. БРТК с МЛА на геостационарном КА обеспечит в едином цифровом блоке мультимедийные теле- и радиоуслуги, передачу данных, управление, телефонию, прямой доступ в Интернет, видеоконференцсвязь в пределах всей территории РФ и сопредельных государств.

Разрабатываемая технология предусматривает использование для построения трансформируемой МЛА композитного материала на основе углепластика, благодаря чему при относительно малой массе будут обеспечены высокие электрические и прочностные характеристики в течение всего длительного срока эксплуатации (не менее 14 лет). Относительная простота конструктивных решений позволяет сокращать сроки и стоимость изготовления МЛА и обеспечивает привлекательность практической реализации.

Библиографическая ссылка

1. Аносов А. М., Бей Н. А., Вечтомов В. А. Применение бортовых многолучевых антенн в системах спутниковой связи // Антенны. 2005. № 10. С. 19–23.

N. A. Bey, V. N. Zimin, A. V. Krylov, V. E. Meshkovsky, S. A. Churilin

IMPLEMENTATION FEATURES OF DEPLOYABLE MULTIBEAM AEROSPACE ANTENNA

A variant of Russian multibeam aerospace antenna for satellite communication system of geostationary spacecraft is under consideration in this article. The results of mirror surface numerical optimization and analysis for main strength parameters of multibeam antenna module under launching dynamic forces are presented here.

Keywords: antenna, unit, mirror, model, composite.

© Бей Н. А., Зимин В. Н., Крылов А. В., Мешковский В. Е., Чурилин С. А., 2010

УДК 629.735.064

О. Г. Бойко, Л. Г. Шаймарданов

О СООТНОШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОТКАЗОВ И ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА НА ПРОИЗВОЛЬНОМ ОТРЕЗКЕ ВРЕМЕНИ В РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ И СЛОЖНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрен традиционный подход к решению задачи надежности систем с позиций удовлетворения условиям использования теоремы умножения вероятностей, ординарности и стационарности потока отказов агрегатов и систем. Предложен альтернативный подход к решению задачи надежности.

Ключевые слова: интегральная функция отказа, дифференциальная функция отказа, вероятность отказа на отрезке, исследование надежности.

Традиционно в расчетах надежности сложных систем [1–4] задача расчета надежности решается относительно интегральной функции вероятности отказа. При этом в решении используются интегральные функции вероятности отказов агрегатов. В работах [5–7] показано, что при таком подходе нарушается правомерность применения теоремы умножения вероятностей, оперирующей вероятностями дискретных событий, а не интегральными функциями.

Обычно вероятность отказа системы на произвольном отрезке времени определяется в виде приращения интегральной функции распределения вероятности отказа системы на этом отрезке. При этом вероятность отказа системы за единицу времени и в среднем по отрезку времени τ определяется как отношение приращения интегральной функции вероятности отказа на отрезке к самому отрезку.

В гражданской авиации надежность авиационной техники и функциональных систем самолетов, в частности, в соответствии с Нормами летной годности [8], нормируется в вероятности отказа за 1 ч полета, приводящей к последствиям различной степени тяжести. Поскольку отрезок в 1 ч является величиной 3–4-го порядка малости по сравнению с рассматриваемым интервалом времени в тысячи и десятки тысяч часов, хорда, соединяющая концы отрезка $\tau = 1$ ч, стягивается в точку, и вероятность отказа за 1 ч допустимо определять в виде дифференциальной функции (плотности вероятности) отказа системы.

В работе ставится следующая задача: при расчетах надежности сложных систем исследовать возможности использования интегральных и дифференциальных функций вероятностей отказа, и вероятности отказа на произвольном промежутке времени протяженностью τ, в частности, и τ, равном 1 ч полета.

Для агрегатов функциональных систем примем известное распределение с равномерной плотностью вероятности (рис. 1), а параметр потока отказов ω постоянным, как это рекомендовано в [9].

Параметр потока отказов – величина обратная средней наработке на отказ: $\omega = \dfrac{1}{T_{\text{ср}}}$.

Интегральная функция вероятности отказа имеет вид

$$q(t) = \omega \cdot t . \qquad (1)$$

Если $t = 1$, то можно утверждать, что вероятность отказа за 1 ч численно равна ω, т. е.

$$q(1) = \omega \cdot 1 = \text{const} . \qquad (2)$$

Интегральная функция $q(t)$ определяет вероятность реализации отказа на интервале от 0 до t. С позиции анализа надежности агрегата она вносит существенную неопределенность, никак не определяя момент реализации отказа. Плотность вероятности (дифференциальная функция) вносит некоторую дополнительную информацию о моменте отказа агрегата. В частности, при распределении с равномерной плотностью вероятности, она указывает на то, что отказ равновозможен в любой момент времени от 0 до t.

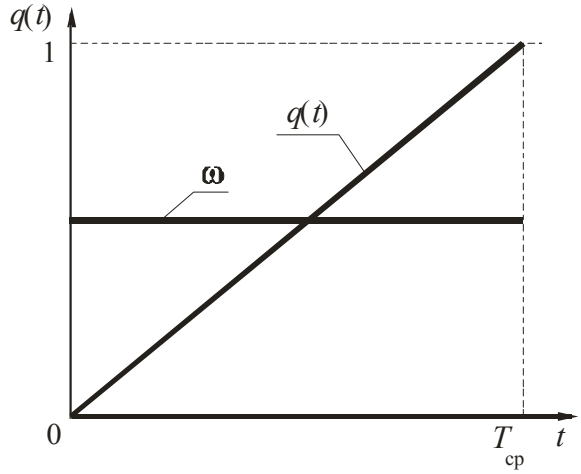


Рис. 1. Зависимость вероятности отказа и параметра потока отказов от времени при распределении с равномерной плотностью

Вероятность отказа агрегата на произвольном отрезке τ традиционно предполагается возможным определять как приращение интегральной функции на этом отрезке.

Рассмотрим возможность определения интегральной и дифференциальной функций вероятностей отказа для системы. Тестовая система общего резервирования, содержащая 16 агрегатов, приведена на рис. 2.

Для простоты положим, что все агрегаты одинаковые и имеют параметры потока отказов ω.

При традиционном подходе к решению задачи надежности интегральная функция вероятности отказа рассматриваемой системы $Q^{\text{тр}}(t)$ определится как

$$Q^{\text{тр}}(t) = \left[1 - (1 - \omega \cdot t)^4\right]^4. \qquad (3)$$

Положив $\omega = 10^{-4}$, по выражению (3) построим график интегральной функции вероятности отказа (рис. 3).

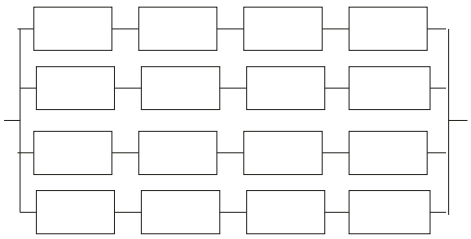


Рис. 2. Схема системы с общим резервированием

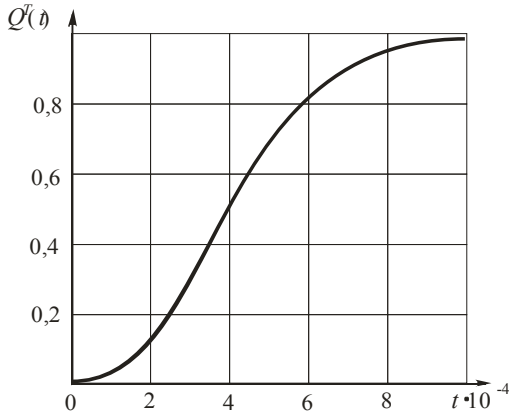


Рис. 3. Интегральная функция вероятности отказа тестовой системы с общим резервированием

Дифференциальная функция от (3) имеет вид плотности вероятности нормального распределения (рис. 4). Поскольку она определяет и вероятность отказа за 1 ч, то наблюдается противоречие исходным данным. Для агрегатов принято распределение равномерной плотности при $\omega = \text{const}$, и вероятность отказа агрегатов за 1 ч не зависит от времени. В работах [5; 7] отмечалось, что это несоответствие вызвано неправомерным использованием процедур теоремы умножения вероятностей к интегральным функциям. Кроме того, вероятность отказа за 1 ч, определенная в форме плотности вероятности нормального распределения, дает неоднозначность решения. Одно значение вероятности отказа за 1 ч реализуется при двух значениях времени (рис. 4).

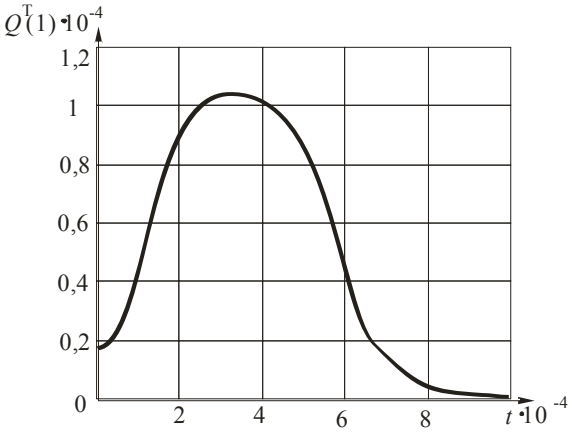


Рис. 4. Дифференциальная функция вероятности отказа тестовой системы с общим резервированием

Вероятность отказа системы на произвольном отрезке времени τ принято определять, как приращение интегральной функции вероятности отказа системы на этом отрезке. При построении интегральной функции вероятности отказа системы авторы традиционно не акцентируют внимание на условии возникновения отказа. Рассматриваемая система (рис. 2) откажет, если откажут 4 агрегата. Моменты отказов этих агрегатов их интегральными функциями на интервале времени $[0, t]$ никак не определены. В соответствии с условием ординарности, накладываемым на распределение отказов по оси времени, на малом отрезке τ не может реализоваться более 1 отказа. Тем более условие отказа системы не может быть выполнено на малом $\Delta t \to 0$, если оно происходит на интервале $[0, t]$. Это ставит под сомнение правомерность как дифференциальной функции отказа системы, так и исходной интегральной функции.

С позиций теории вероятностей все, на первый взгляд, представляется оправданным. Построена интегральная функция вероятности отказа системы и, как ее производная – дифференциальная функция. Они должны полностью характеризовать все свойства безотказности системы. Но при построении интегральной функции неправомерно применена теорема умножения вероятностей к интегральным функциям вероятностей отказов агрегатов. При построении дифференциальной функции формально взята производная от интегральной функции. Формально, поскольку проигнорировано условие возникновения отказа системы, а вслед за ним и условие ординарности.

В работах [5; 7] показана возможность решения задачи расчета надежности сложных систем непосредственно относительно вероятности отказа на произвольном отрезке времени τ, принимаемом за единицу времени. Вероятности отказа агрегатов за единицу времени являются дискретными событиями и применение к ним теоремы умножения вероятностей вполне оправданно. Тогда в соответствии с (2) и (3) вероятность отказа системы за 1 ч по альтернативной методике определится в виде

$$Q^{\text{ал}}(1) = \left[1 - (1 - \omega)^4\right]^4. \qquad (4)$$

При определении этого значения вероятности отказа на систему наложено условие, что в течение 1 ч в системе с вероятностью $Q^{\text{ал}}(1)$ откажут 4 агрегата. Такое же условие наложено и при построении выражения (3) относительно вероятности $Q^{\text{тр}}(t)$, но в этом случае оно реализуется и на интервале $[0, t]$. Одновременная реализация условия отказа системы на интервале $[0, t]$ и на малом отрезке $\Delta t \to 0$, реализуемом при построении дифференциальной функции вероятности отказа системы, невозможна. Эти условия несовместны.

При определении вероятности отказа за 1 ч на систему накладывается требование отказа агрегатов в течение этого часа. В соответствии с условием ординарности выполнение этого требования маловероятно. Но Нормы летной годности [8] требуют определения вероятности отказа именно за 1 ч, хотя и с крайне малой вероятностью. Для функциональной системы, оказывающей влияние на безопасность полетов, эта величина должна быть не более 1×10^{-9}.

Системы самолетов имеют 2–3-кратное резервирование и являются системами, работающими с восстановлением. Если отказ агрегата имеет открытую для экипажа функцию, то после отказа в полете он заменяется при техническом обслуживании по замечанию экипажа. В этом случае, временем, характерным для расчета надежности системы, является продолжительность типового полета. Если отказ имеет скрытую для экипажа функцию, то он будет обнаружен только при очередной проверке системы и характерное время определится периодичностью проверок.

Дублирование с восстановлением обеспечивает высокую надежность систем. Нам не известны катастрофы, вызванные отказами систем. Надежность систем, рассчитанная по статистическим материалам эксплуатантов, оценивается вероятностью отказа $10^{-9}\ldots10^{-16}$ за 1 ч полета.

Если выражение (4) умножить на время t:

$$Q^{\text{ал}}(t)=\left[1-(1-\omega)^4\right]^4\cdot t\,, \qquad (5)$$

то функция от t определит зависимость вероятности отказа системы от времени. Но ее смысл существенно отличается от заложенного в выражение (3), которое определяет зависимость вероятности отказа от t при условии, что на интервале $[0, t]$ откажут агрегаты, обусловливающие отказ системы. Выражение (5) тоже предполагает определение вероятности отказа системы в функции t, но при условии, что в течение каждого часа интервала $[0, t]$ будет выполняться условие ее отказа. Фактически, это произведение вероятности отказа в течение 1 ч на число часов в интервале $[0, t]$.

Нетрудно получить выражение вида (5) для случая, когда за единицу времени принят не 1 ч, а произвольная единица τ. Наши исследования показали, что в этом случае для каждой τ будет получена своя зависимость вероятности отказа системы от времени, т. е. построено поле таких зависимостей, что противоречит условию однозначности вероятности отказа от времени.

Построить решение относительно вероятности отказа системы на интервале $[0, \tau]$ в дискретных значениях отказов агрегатов, как этого требует теорема умножения вероятностей, возможно, определив эти дискретные значения. Для этого интервал $[0, \tau]$ необходимо принять за единицу времени, которая может изменяться, и применительно к ней определить параметр потока отказов в виде

$$\omega_\tau=\tau\cdot\omega\,.$$

Тогда, в соответствии с (2), вероятность отказа агрегата на интервале $[0, \tau]$, как за единицу времени, будет иметь вид

$$q(\tau_1)=\omega_\tau\cdot 1 \qquad (6)$$

и вероятность отказа системы будет выглядеть следующим образом:

$$Q^{\text{ал}}(\tau_1)=\left[1-(1-\omega_\tau)^4\right]^4. \qquad (7)$$

Поскольку $\omega_\tau=\tau\cdot\omega$, выражение (7) формально подобно выражению (3). Отличие состоит в понимании, трактовке и использовании результатов расчетов.

Выражение (3) обычно трактуется как интегральная функция вероятности отказа системы, по которой возможно определить текущее по t значение вероятности отказа, и вероятность отказа на отрезке τ, как ее приращение, а также вероятность отказа в течение 1 ч в форме дифференциальной функции (рис. 4). Выше было сказано, что это ошибочные представления.

Выражение (7) также не является интегральной функцией вероятности отказа системы. Оно определяет вероятности ее отказа на дискретных интервалах времени $[0, \tau]$, в том числе и при длительности интервала, равной 1 ч. В выражении (7), при изменении длительности интервала τ, всегда понимается изменение параметра потока отказов ω_τ при единичном значении времени. В выражении (7) время равно 1, т. е. оно не является функцией времени, и вследствие этого вероятность отказа на отрезке τ не зависит от его положения на оси времени t. В выражении (3) параметр потока отказов w принимается постоянным, а изменяется время t.

Сходство выражений (3) и (7) определяет получение одинаковых результатов только при расчете на равных интервалах, имеющих начало, которое совпадает с началом оси времени, т. е. только на интервалах $[0, t]$. При определении вероятностей отказа системы на одинаковых отрезках τ, произвольно расположенных на оси t, результаты расчетов существенно различны.

Рассмотренная в работе система в соответствии с традиционным подходом (3) на отрезке протяженностью $\tau = 1\,000$ ч имеет вероятность отказа равную:

– 0,014 в диапазоне времени 0...1 000 ч;
– 0,2 в диапазоне времени 4 000...5 000 ч;
– 0,0256 в диапазоне времени 7 000...8 000 ч;
– 0,0004 в диапазоне времени 9 000...10 000 ч.

При альтернативном подходе, в соответствии с (7), вероятность отказа при $\tau = 1\,000$ ч равна 0,014 и не зависит от положения отрезка τ на оси времени.

В первом случае выражение (3) рассматривалось как интегральная функция вероятности отказа (рис. 3), и в соответствии с ней на участке $\tau = 1\,000$ ч в зависимости от его положения на оси t получены различные вероятности отказа. Во втором случае уравнение (7) представляет собой вероятность отказа на дискретных отрезках времени τ.

В рассмотренном примере для агрегатов принято распределение с равномерной плотностью вероятности, при котором вероятности их отказов на отрезке τ зависят только от его длины и не зависят от его положения на оси времени. Это свойство пуассоновского потока событий. Несмотря на нелинейность выражения (7) и рис. 3, при альтернативном подходе это свойство осталось присущим и системе.

Следует отдельно остановиться на правомерности традиционной интегральной функции вероятности отказа с позиций стационарности процесса эксплуатации и потоков событий отказов агрегатов. Практикой эксплуатации авиационной техники отечественного и зарубежного производства показано, что при действующей системе технического обслуживания, потоки отказов агрегатов стационарны, т. е. параметры потоков отказов не зависят от времени работы системы (от налета часов). При этом момент времени, принятый за начало отсчета времени в выражении (3) и рис. 3, является произвольным и может быть выбран любым, т. е. реализуется не одна функция вида (3), принятая за интегральную, а поле таких

функций. Любому произвольному моменту времени t будут соответствовать вероятности отказа системы в интервале от 0 до 1 в зависимости от момента начала отсчета времени. Таким образом, интегральная функция вероятности отказа системы теряет смысл. Оправданным является определение вероятностей отказа системы на определенных отрезках времени τ, значения которых остаются независящими от начала отсчета времени.

Библиографические ссылки

1. Воробьев В. Г., Константинов В. Д. Надежность и эффективность авиационного оборудования. М. : Транспорт, 1995.

2. Сугак Е. В., Василенко Н. В., Назаров Г. Г. Надежность технических систем. Красноярск : МПГ «Раско», 2001.

3. Базовский И. Надежность. Теория и практика : пер. с англ. М. : Мир, 1965.

4. Александровская Л. Н., Аронов Н. З. Безопасность и надежность технических систем. М. : Универс. книга ; Логос, 2008.

5. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Математические модели и методы расчета схемной надежности функциональных систем самолетов ГА // Вестник СибГАУ. Вып. 3(20). 2008. С. 78–82.

6. Бойко О. Г. Правомерность использования интегральных функций распределения вероятности в расчетах надежности // Вестник СибГАУ. Вып. 4(21). 2008. С. 109–111.

7. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Математические модели и методы расчета надежности сложных систем // Вопросы современной науки и практики. 2009. № 8(22). С. 64–72.

8. Авиационные правила : АП-25. Нормы летной годности самолетов. М. : МАК, 1994.

9. ОСТ 1 00132–84. Надежность изделий авиационной техники. Методы количественного анализа безотказности функциональных систем при проектировании самолетов и вертолетов. М. : Изд-во стандартов, 1984.

O. G. Boyko, L. G. Shaimardanov

THE PAPER IS ABOUT INTEGRAL, DIFFERENTIAL BREAKDOWN PROBABILITIES FUNCTION BREAKDOWN PROBABILITY AT A RANDOM TIME PIECE CORRELATION IN COMPLICATED SYSTEMS AND AGGREGATES CALCULATION

The traditional approach to solution the reliability task is viewed from the positions of satisfaction conditions of probabilities multiplying theorem usage, ordinarity and stationarity of systems and aggregates breakdowns stream. The alternative approach to reliability task solution is proposed.

Keywords: breakdown integral function, differential breakdown function, breakdown probability at a piece, reliability study.

© Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г., 2010

УДК 629.7.017.1

В. В. Лукасов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ВОЗДУШНОМ СУДНЕ В ПОЛЕТЕ

Показана возможность прогнозирования перехода особой ситуации в полете в аварийную с использованием статистического метода теории вероятностей.

Ключевые слова: авиационная техника, экипаж, аварийная ситуация, признак, вероятность появления состояния, вероятность проявления признака.

Анализ инцидентов, авиационных происшествий и катастроф, произошедших с летательными аппаратами (ЛА), показывает, что все они происходят по вине человека или техники. При подготовке и выполнении полета на человека или технику влияют различные факторы, которые в ряде случаев приводят к тяжелым последствиям. Рассмотрим эти факторы.

На авиационную технику влияет качество серийного производства, выполнение требований летной и технической эксплуатации, своевременное и полное проведение технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и грамотность техники пилотирования.

На экипаж оказывает влияние обученность, регулярность выполнения полетов, качество подготовки к полету, физическое и психологическое состояние членов экипажа.

Выполнение полета можно разделить на этапы, в ходе которых возможны ошибочные действия членов экипа-

жа на взлете, на маршруте, при заходе на посадку, при посадке.

Возникновение аварийных ситуаций возможно на этих этапах и по вине органов управления воздушного движения.

Кроме этого, аварийные ситуации могут возникнуть и в случаях, когда летательный аппарат попадает в сложные метеорологические условия.

Как показывает опыт эксплуатации летательных аппаратов, проявление одного отказа, неисправности или ошибочного действия не приводит к тяжелым последствиям, и только их сочетание или наложение может привести к аварийной ситуации.

За десятки лет эксплуатации был накоплен большой статистический материал, который дает возможность проанализировать, сделать выводы, определить причины, принять меры по предупреждению аналогичных случаев или выполнить своевременные действия, приводящие к выходу из аварийной ситуации. При выполнении полета экипаж заинтересован в возможности самостоятельно определить причину, предвидеть дальнейший ход развития аварийной ситуации и принять единственное правильное решение, т. е. он в любой ситуации должен быть готовым к самостоятельным правильным действиям.

Возможны два варианта развития событий:

– признак или несколько признаков, которые дают полную информацию о состоянии, т. е. явно указывают на неисправность или отказ;

– признак или несколько признаков, по которым трудно однозначно сказать, какой отказ или неисправность возникли; в этом случае невозможно (нельзя) правильно действовать, а значит усугубить аварийную ситуацию. В полете же все решают секунды.

Наиболее часто встречаются аварийные ситуации второго варианта. Именно к этим случаям и предлагается применить методы теории вероятностей. Одним из них является метод Байеса, или теорема гипотез.

Чтобы применить этот метод, необходимо определить независимые случайные величины (для нас это факторы, отрицательно влияющие на выполнение полетного задания), определить закономерные повторения их в количественном значении на основе статистических данных и по формуле Байеса рассчитать вероятность возникновения конкретной аварийной ситуации.

Формула Байеса имеет вид

$$P(S_i / k_j) = P(S_i)\,\frac{P(k_j / S_i)}{P(k_j)}\,, \qquad (1)$$

где $P(S_i)$ – вероятность появления состояния S_i, определяемая по статистическим данным; $P\,(k_j/S_i)$ – вероятность проявления признака аварийного состояния k_j у объектов с состоянием S_i; $P(k_j)$ – вероятность появления признака аварийного состояния k_j во всех объектах независимо от состояния объекта.

Обобщенная формула Байеса относится к случаю, когда обследование проводится по комплексу признаков K, включающему признаки $k_1, k_2, ..., k_v$. Каждый из признаков k_j имеет τ_j разрядов ($k_{j1}, k_{j2}, ..., k_{js}, ..., k_j\,\tau_j$). В результате обследования становится известной реализация признака

$$K_j^* = k_{js}, \qquad (2)$$

и всего комплекса признаков K^* (индекс * означает конкретное значение (реализацию) признака). Формула Байеса для комплекса признаков выглядит следующим образом:

$$P(S_i/K^*) = P(S_i)\,P(K^*/S_i)\,/\,P(K^*),\ (i = 1, 2, ..., n), \qquad (3)$$

где $P(S_i/K^*)$ – вероятность диагноза S_i после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K; $P(S_i)$ – вероятность появления состояния S_i (по предшествующей статистике).

В практических задач, особенно при большом числе признаков, применимо условие независимости признаков даже при наличии существенной корреляции между ними.

Вероятность проявления комплекса признаков K^* определяется по выражению

$$P(K^*) = \sum_{S=1}^{n} P(S_C)\,P(K^*/S_C)\,. \qquad (4)$$

Для комплекса признаков обобщенная формула Байеса может быть записана в виде

$$P(S_i\ /\ K^*) = \frac{P(S_i)P(K^*/S_i)}{\sum_{s=1}^{n} P(S_C)P(K^*/S_C)}\,, \qquad (5)$$

а

$$\sum_{i=1}^{n} P(Si/K^*) = 1\,, \qquad (6)$$

т. е. одно из состояний обязательно реализуется, а реализация одновременно двух состояний невозможна.

Теорема гипотез является основой для применения, но прямое ее использование не дает требуемого результата. Чтобы его достичь, необходимо развить теорему, углубить ее путем преобразования, трансформации обобщенной формулы Байеса, определения условий применения, построения требуемых расчетных математических моделей, составления алгоритма поиска неисправностей.

Раскрывая теорему гипотез, определим *возможные варианты* сочетаний признаков и неисправных состояний:

I – проявление одного признака в одной аварийной ситуации;

II – проявление одного признака в двух аварийных ситуациях;

III – проявление двух признаков в одной аварийной ситуации;

IV – проявление двух признаков в двух аварийных ситуациях;

V – проявление двух признаков в трех аварийных ситуациях;

VI – проявление трех признаков в двух аварийных ситуациях.

В каждом варианте необходимо рассматривать предполагаемые аварийные ситуации с учетом их возможного проявления. Для этого целесообразно определить условия, при которых признаки будут рассматриваться как случаи – I, а неисправные состояния как вариации – II.

Условия предопределяют необходимость выполнения следующих операций.

Выполнение расчета по случаям обозначим:

I а – при одновременном проявлении всех признаков;

I б – при неявном проявлении (непроявлении) первого признака; неявное проявление признака означает, что признак слабо выражен;

I в – при неявном проявлении (непроявлении) второго признака;

I г – при неявном проявлении (непроявлении) обоих признаков.

Рассмотрим в каждом случае вариации (II) для следующих состояний:

II а – для первого рассматриваемого неисправного состояния (S_1);

II б – второго рассматриваемого неисправного состояния (S_2);

II в – третьего рассматриваемого неисправного состояния (S_3).

Эти условия применимы только для того варианта, в котором одновременно имеется два и более признака, две и более аварийной ситуации.

Каждую аварийную ситуацию необходимо рассматривать по всем четырем случаям: I а, I б, I в и I г – проявления или непроявления признаков.

Для удобства и большей наглядности предлагается строить диагностическую матрицу общего вида (см. таблицу), которая состоит из столбцов, где размещены конкретные признаки, а в последнем – вероятности $P(k_j/S_i)$, и строк, в которых содержатся значения вероятности аварийных ситуаций.

Для получения необходимых расчетных зависимостей из обобщенной формулы Баейса используется приведенная таблица.

Рассмотрим получение выражений для наиболее сложного *V* варианта.

Вариант *V* – проявление двух признаков (k_1 и k_2) в трех неисправных состояниях (S_1, S_2 и S_3).

Вариант *V* будем рассматривать в 4-х случаях при проявлении или непроявлении двух признаков, и в 3-х вариациях, т. е. для трех неисправных состояний.

Вариация II а – для первой аварийной ситуации (S_1): для случая I а – одновременное проявление двух признаков (k_1 и k_2) в аварийной ситуации S_1. Используя обобщенную формулу Баейса (5), получим следующее выражение $P(S_1/k_1k_2)$:

$$P(S_1/k_1k_2) = \frac{P(S_1)P(k_1/S_1)P(k_2/S_1)}{P(S_1)P(k_1/S_1)P(k_2/S_1)+P(S_2)P(k_1/S_2)\times \times P(k_2/S_2)+P(S_3)P(k_1/S_3)P(k_2/S_3)}. \quad (7)$$

В числителе: произведение значения $P(S_i)$ – вероятность появления аварийной *i*-й ситуации (применительно к рассматриваемому случаю S_1) $P(S_1)$, на значение $P(K^*/S_i)$ – вероятность проявления комплекса признаков (для нашего случая – одновременное проявление признаков k_1 и k_2), в аварийной ситуации (для рассматриваемого случая S_1) – $P(k_1k_2/S_1)$, или $P(k_1/S_1)\ P(k_2/S_1)$. Исходя из этих обозначений, в числителе получим выражение $P(S_1)\ P(k_1\,k_2/S_1)$ или $P(S_1)\ P(k_1/S_1)\ P(k_2/S_1)$.

В знаменателе: сумма произведения значения $P(S_c)$ – вероятность появления сочетаний аварийных ситуаций (для рассматриваемого случая S_1, S_2 и S_3 – определяют количество слагаемых), $P(S_1)$, $P(S_2)$ и $P(S_3)$, на значение $P(K^*/S_c)$ – вероятность проявления комплекса признаков (в рассматриваемом случае – одновременное проявление признаков k_1 и k_2), в сочетании аварийных ситуаций (S_1, S_2 и S_3) – $P(k_1/S_1)\ P(k_2/S_1) + P(k_1/S_2)\ P(k_2/S_2) + P(k_1/S_3)\ P(k_2/S_3)$. В результате в знаменателе получаем выражение $P(S_1)\,P(k_1/S_1)\,P(k_2/S_1) + P(S_2)\,P(k_1/S_2)\,P(k_2/S_2) + P(S_3)\,P(k_1/S_3)\,P(k_2/S_3)$.

После сведения рассмотренных выражений получим расчетную зависимость (7).

Аналогичными действиями получены следующие выражения: для случая I б – при неявном проявлении первого признака в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1/\bar{k}_1k_2)$; для случая I в – при неявном проявлении второго признака в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1/k_1\bar{k}_2)$; для случая I г – при неявном проявлении обоих признаков в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1/\bar{k}_1\bar{k}_2)$.

Проделав подобные действия с вариацией II б, получим выражение для второй аварийной ситуации (S_2), и с вариацией II в – для третьей аварийной ситуации (S_3).

Полученные выражения вида (7) представляют собой математическую модель определения аварийной ситуации, которая позволит выработать для каждого случая единственно правильное действие и даст возможность в усложненной обстановке помочь экипажу выйти из этой ситуации с минимальным риском.

Диагностическая матрица общего вида

Аварийные ситуации S_i	Вероятность проявления признака k_j			$P(S_i)$
	по k_1	по k_2	по k_3	
	$P(k_1/S_i)$	$P(k_2/S_i)$	$P(k_3/S_i)$	
S_1	$P(k_1/S_1)$	$P(k_2/S_1)$	$P(k_3/S_1)$	$P(S_1)$
S_2	$P(k_1/S_2)$	$P(k_2/S_2)$	$P(k_3/S_2)$	$P(S_2)$
S_3	$P(k_1/S_3)$	$P(k_2/S_3)$	$P(k_3/S_3)$	$P(S_3)$

V. V. Lukasov

PROGNOSTICATION OF DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATION ON AN AIR SHIP ON WING

Possibility of prognostication of transition of abnormal case while in flight to an emergency case with the use of statistical method of theory of probability value.

Keywords: aerotechnics, crew, emergency case, indication, state exhibiting probability, indication display probability.

© Лукасов В. В., 2010

УДК 621.45.04.4

В. Ю. Журавлев, М. В. Кубриков

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ВЫВОРАЧИВАНИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ

Представлен процесс проектирования выворачивающихся металлических разделителей двигательных установок топливных баков космических аппаратов на основе использования энергетического принципа.

Ключевые слова: тонкостенный диафрагма-разделитель, топливный бак, выворачивание, оболочка.

Важнейшим условием нормальной работы агрегатов космического летательного аппарата является непрерывность подачи компонентов топлива, которая может быть нарушена при наличии газовых пузырей в топливоподающих магистралях, например, при запуске в условиях невесомости или вследствие временного оголения заборного устройства, при маневре летательного аппарата. Для разграничения газовой и жидкой фаз успешно применяют механические разделители. Большинство разделителей хорошо компенсируют температурные расширения топлива.

Однако только некоторые из них имеют высокие показатели по заполнению топливом объема бака и невысокую долю остатка невытесняемого компонента. Значительного улучшения использования свободного объема бака можно добиться применением в качестве вытеснительных устройств тонкостенных металлических выворачивающихся диафрагм-разделителей.

Выворачивание разделителя осуществляется перемещением диафрагмы-разделителя за счет пластического деформирования материала ее стенки. В процессе выворачивания разделитель претерпевает большие пластические деформации, близкие к предельно допустимым для используемых материалов. Основными направлениями деформирования стенки разделителя считаются меридиональное и окружное. Разработка математической модели процесса выворачивания разделителя основана на анализе условий работы конструкции тонкостенной оболочки и учете накладываемых ограничений. В настоящее время отсутствует программное обеспечение, позволяющее моделировать процесс выворачивания металлических диафрагм-разделителей, в силу недостаточной изученности физической сути процесса. Предлагаемая программа реализует выработанный подход на основе результатов экспериментальных исследований и моделирования процесса выворачивания диафрагм-разделителей различной формы на протяжении ряда лет.

В процессе работы в промежуточном положении при симметричном выворачивании поверхность разделителя можно рассматривать состоящей из трех зон (рис. 1).

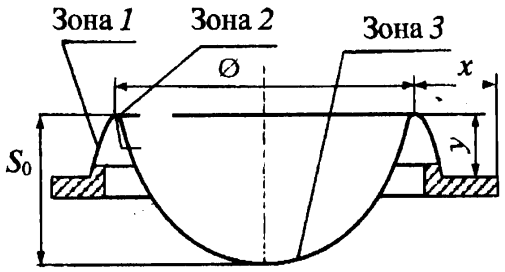


Рис. 1. Промежуточное положение диафрагмы-разделителя

Зона 1 – вывернутая часть разделителя, прошедшая пластическое деформирование. Форма и размеры этой части в процессе дальнейшего выворачивания считаются неизменными.

Зона 2 – зона пластического деформирования материала, за счет которой осуществляется процесс выворачивания, представляет собой торовую поверхность, размеры которой меняются в процессе выворачивания разделителя.

Зона 3 – срединная невывернутая часть разделителя, которая считается недеформированной, она лишь перемещается вдоль оси симметрии разделителя.

Процесс выворачивания разделителя инициируется в районе технологически сформированной периферийной торовой поверхности, примыкающей к центральной недеформированной части. Вытеснение жидкой фазы над диафрагмой-разделителем происходит за счет разности давления между газовой и жидкой фазами при перемещении центральной части разделителя, не прошедшей деформирование. Форма зоны пластической деформации считается частью торовой поверхности и перемещается вдоль меридианов по центральной зоне от периферии к центру. Радиус торовой поверхности зоны перекатывания формируется в зависимости от ряда параметров образующей и от толщины разделителя.

Процесс выворачивания центральной части происходит симметрично или с небольшой асимметрией. В процессе выворачивания нормаль к плоскости перекатывания (с выпуклой стороны зоны перекатывания) несколько отклоняется от оси симметрии разделителя. Это отклонение хаотично и направлено в сторону увеличения толщины материала в данном месте.

Радиус зоны перекатывания, как и нормаль к поверхности этой зоны, не остается постоянным. Он имеет максимальные и минимальные значения, поэтому форма торовой поверхности перекатывания не всегда симметрична.

Выворачивание диафрагмы-разделителя на заключительном этапе (при остатке объема примерно в 5 %) происходит со значительным влиянием упругих деформаций в невывернутой области, торовой и в зоне, прошедшей деформирование по схеме замедленного «хлопка». При этом выворачивание происходит на небольшом телесном угле разделителя, где разница в толщинах оказывается незначительной.

К основным параметрам процесса выворачивания металлического разделителя топливного бака следует отнести давление выворачивания, мгновенную форму раз-

делителя и вытесненный к этому времени объем. Эти параметры определяются значением радиуса перекатывания и деформациями по главным направлениям. Давление выворачивания и радиус зоны перекатывания зависит от мгновенной формы невывернутой части разделителя, т. е. от положения зоны перекатывания на невывернутой части разделителя.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что деформирование разделителя на всем протяжении процесса выворачивания носит четко выраженный характер и сосредоточен в торовой зоне перекатывания. Под действием перепада давления на разделителе в результате деформации зоны перекатывания недеформированная часть перемещается относительно прошедшей деформирование. Для материалов, используемых при изготовлении металлических диафрагм-разделителей значения напряжений предела текучести и предела прочности близки, что позволяет заменить реальную диаграмму растяжения материала идеально-пластической диаграммой. Это обстоятельство не приводит к существенным погрешностям в расчете величин давления выворачивания.

Для идеально-пластического тела пластическое течение определяется конечной комбинацией нагрузок, путь нагружения, начальные напряжения и деформации при этом не учитываются [1]. Поэтому используется энергетический принцип механики деформируемого твердого тела.

Накопленный в математическом моделировании опыт позволил выработать определенную технологию исследования сложного технического объекта, диафрагмы-разделителя. Технология основана на анализе результатов экспериментов и построении математических моделей с использованием ЭВМ. Процесс постановки задачи, поддающийся математическому анализу, потребовал разносторонних знаний – знания конструкции исследуемого объекта, технологии его производства, условий эксплуатации и испытаний, известных экспериментальных данных по исследуемой теме и т. п.

После постановки задачи производилось построение математической модели, которая неразрывно связана с физической моделью процесса симметричного выворачивания тонкостенных оболочек вращения.

При построении математической модели процесса выворачивания диафрагмы-разделителя с пластическим деформированием материала использован энергетический принцип:

$$\int_F X_{ni} x_{ni} dF \le \tau_s \int_F H' dV,$$

где X_{ni} – поверхностная нагрузка; x_{ni} – скорость перемещения поверхности; F – движущаяся в результате деформации поверхность; τ_s – предел текучести материала при сдвиге; H – кинематически возможная интенсивность скоростей деформации; V – объем пластической зоны.

Интенсивность скоростей деформации определяется по формуле

$$H' = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(\eta_1 - \eta_2)^2 + (\eta_2 - \eta_3)^2 + (\eta_3 - \eta_1)^2}.$$

Деформация разделителя при его перемещении в торовой зоне перекатывания происходит за счет изменения кривизны меридиана в местах перехода тора к недеформированной части и за счет смещения материала разделителя на основном участке тора. Скорость деформации в обеих зонах определяется как отношение скорости перемещения к расстоянию до точки от недеформированного участка разделителя dl:

$$\eta_м = \frac{S\omega}{dl} \cdot (1 + \varepsilon_м).$$

На основном участке тора за счет смещения материала диафрагмы-разделителя происходит изменение длины параллели. При осевой симметрии это изменение пропорционально изменению расстояния между диаметрально противоположными точками. Скорость изменения параллели определяется скоростью удаления диаметрально противоположных точек друг от друга или скоростью изменения расстояния от рассматриваемой точки до оси симметрии:

$$\eta_n = \frac{V_{мх}}{X_м} = \frac{V_{сх} + V_{мсх} + V_{м\ отн\ х}}{X_м} =$$

$$= \frac{-V_с \cos\phi = \left(V_{мс} + V_{м\ отн}\right) \cos\left(\phi - \alpha_м\right)}{X_м}.$$

Скорость деформации толщины разделителя определяется из условия неизменности объема пластически деформируемого материала.

При построении математической модели не учитывались факторы, не оказывающие существенного влияния на ход изучаемых процессов, т. е. рассматривалась упрощенная физическая модель. Достоверность математической модели во многом зависит от полноты информации, характеризующей процесс выворачивания. Поэтому многие из характеристик, применяемых в математической модели, используются исходя из опыта предыдущих разработок.

Для практического применения разработанной модели необходимо было изучить предложенное решение и найти те или иные количественные закономерности. Именно на этом этапе использовалась реализация численных методов. Создание специального программного обеспечения позволило интерпретировать математическую модель. В дальнейшем проводилась отладка программы, проведение вычислений, сравнение с данными экспериментов и анализ результатов. Полученные результаты изучили с точки зрения их соответствия реальному процессу выворачивания разделителей, в результате чего были внесены соответствующие корректировки в математическую модель.

В результате проектирования и расчета разделителя для конкретной конфигурации бака должна быть определена его начальная и конечная формы, место закрепления в баке, характеристика перепада давления в процессе выворачивания.

Метод математического моделирования и создание программного обеспечения по реализации процесса выворачивания разделителей соединяют в себе преимущества традиционных теоретических и экспериментальных методов исследования и направлены на повышение надежности и экономической эффективности новых разработок в области конструирования и расчетов диафрагм-разделителей в составе топливных баков.

Расчет процесса выворачивания начинается с подбора путем задания вариантов начальной формы разделителя как поверхности вращения, образующая которой в общем случае может состоять из сферических, торовых, конических и цилиндрических участков. Каждый участок разбивается на некоторое количество расчетных точек в соответствии с выбранным шагом изменения длины меридиана срединной поверхности. На участках определяются основные геометрические параметры срединной поверхности разделителя. Положение серединной поверхности разделителя определяется при следующих допущениях, характеризующих процесс выворачивания:

– в процессе перекатывания разделитель деформируется, при этом максимальные значения имеют деформации параллелей, а деформации меридианов и толщины меньше первых и зависят от них;

– меридиональное сечение зоны перекатывания аппроксимируется дугой окружности с известным радиусом;

– зона перекатывания симметрична и характеризуется углом зоны пластического деформирования;

– центральная часть разделителя до зоны перекатывания не меняет своей формы, а лишь перемещается вдоль оси выворачивания;

– форма меридионального сечения вывернутой части оболочки определяется огибающей крайних точек деформированной зоны, расстояние между которыми равно диаметру деформированного в процессе выворачивания меридиана.

Решение уравнения энергетического принципа позволило найти зависимости для радиуса зоны перекатывания и давления выворачивания от параметров мгновенного положения разделителя. Это же решение дает возможность определить пластические деформации разделителя на всем протяжении меридиана по основным направлениям:

$r = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{x_C S}{\sin\varphi - \varphi\cos\varphi}}$ – радиус зоны перекатывания;

$P = \frac{4\tau_g S}{x_C^2 \sin\varphi}\sqrt{x_C S(\sin\varphi - \varphi\cos\varphi)}$ – давление выворачивания.

Дальнейший алгоритм проектирования диафрагм-разделителей состоит из следующих этапов:

– определяются относительные деформации параллели и меридиана как функции от деформации параллели;

– определяется среднее значение относительной деформации меридиана на участке между расчетной и предыдущей точкой;

– находится величина деформации параллели;

– определяется изменение длины участка меридиана от предыдущей точки и по нему величина смещения невывернутой части разделителя, а также смещение от начального положения;

– вычисляются координаты основных точек зоны перекатывания;

– находится величина вытесненного объема, а так как поверхность выворачивающегося разделителя не выражается через элементарные функции, то общий вытесненный разделителем объем будет определяться суммированием отдельных элементарных объемов.

Разработанный программный продукт реализует представление математической модели процесса выворачивания диафрагмы-разделителя в виде графиков, таблиц и визуализации мгновенного положения разделителя. Программа разделена на несколько модулей:

– модуль ввода данных – выполняется ввод параметров материала и основных геометрических параметров диафрагмы-разделителя и оболочек топливного бака;

– модуль справки и теоретических сведений – содержит методику расчета и проектирования металлических выворачивающихся диафрагм-разделителей топливных баков жидкостных ракетных двигателей. Рассмотрена математическая модель, основные характеристики процесса выворачивания. Данные теоретические сведения приведены в помощь при обучении студентов технических специальностей. Наличие в программном обеспечении подробной справочной части позволяет использовать программу для самостоятельного изучения процесса выворачивания диафрагм-разделителей;

– модуль вывода таблиц – в таблицах собраны расчетные данные процесса выворачивания, что дает возможность их дальнейшей обработки в сторонних программах;

– модуль вывода графиков – двумерные графики будут изменяться одновременно с изменением положения разделителя. Возможности интерфейса позволяют осуществить наложение графиков и, вследствие этого, визуально выявить узловые участки процесса выворачивания. Специальные функции дают возможность импортировать полученные графики в графические файлы;

– модуль визуализации мгновенного положения разделителя отображает положение диафрагмы-разделителя в составе топливного бака. Интерфейс оформлен в виде медиаплеера, что упрощает использование программы. Пошаговое воспроизведение процесса выворачивания диафрагмы разделителя позволяет наглядно просмотреть весь процесс выворачивания и выявить особенности выворачивания.

Наличие в программе модулей позволяет адаптировать входные и выходные данные для других программ. Сохранение полученных данных осуществляется в стандартных форматах файлов (doc, .xls, .jpg, .txt, .html). Каждый документ, передаваемый в Microsoft Office, основан на шаблоне. Шаблон определяет основную структуру создаваемого документа. Использование шаблонов упрощает создание отчетов и графиков требуемой формы для использования их на производстве и в учебном процессе. Благодаря интеграции текста, формул и графиков в одном документе, можно с легкостью визуализировать, иллюстрировать и снабжать вычислительные работы подробными аннотациями. Все решения будут полностью документированы и записаны в одном месте.

Реализация математической модели в программном обеспечении позволяет осуществить большинство расчетов, связанных с процессом выворачивания разделителя, и получить ряд другой важной информации. В программе осуществлено сравнение теоретических данных с экспериментальными, что позволяет выявить особенности и проблемы процесса выворачивания диафрагмы-разделителя. Наглядность полученных данных способствует возможности наилучшим способом определить недо-

статки проектируемых диафрагм-разделителей, получить исчерпывающую информацию протекания процесса выворачивания диафрагмы-разделителя в составе топливного бака.

Апробация программы проводилась в сравнении с результатами экспериментальной диафрагмы-разделителя. Разделитель представляет собой поверхность вращения, состоящую из центрального участка сферической поверхности, плавно сопряженного с участком торовой поверхности, отбортованной по периферии в виде торовой поверхности малого радиуса для организации процесса выворачивания (рис. 2).

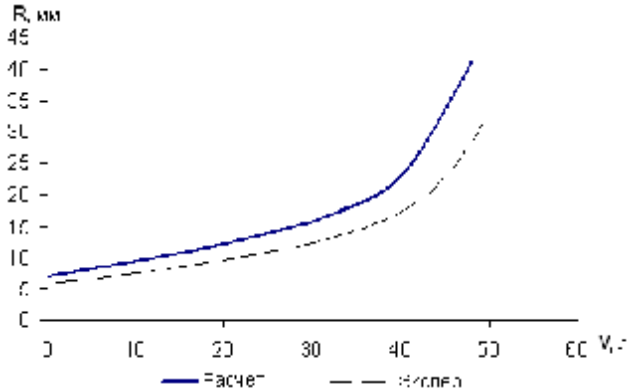


Рис. 2. Зависимость радиуса зоны перекатывания от вытесненного объема

Результаты расчета диафрагм-разделителей дают возможность оценить величины основных параметров процесса выворачивания и выполнить их конструктивные проработки в составе топливных баков.

Величина радиуса зоны перекатывания и его положение по координатам дают возможность определить положение зоны перекатывания в топливном баке в любой момент вытеснения, а величина смещения недеформированной части разделителя позволяет построить полное положение разделителя на данном расчетном шаге. Огибающая радиусов зоны перекатывания определяет положение деформированной части разделителя.

Основным достоинством программы является визуализация начальной, промежуточных и конечной форм проектируемого разделителя в зависимости от места крепления в баке относительно внутренней поверхности стенок бака. Это позволяет оперативно менять геометрические параметры участков образующей и место крепления разделителя в баке для достижения максимальной эффективности использования его объема и исключения случаев прекращения процесса выворачивания при сминании стенки разделителя внутренними поверхностями топливного бака. Для снижения перепада давления на разделителе его толщина проектируется переменной вдоль образующей.

Программа будет полезна как инженерам-конструкторам в качестве основного инструмента для сокращения сроков проектирования выворачивающихся диафрагм-разделителей топливных баков жидкостных ракетных двигателей, так и студентам в качестве дополнительного материала в курсовом и дипломном проектировании.

Библиографическая ссылка

1. Коровайцев А. В. Расчет оссемметричных форм равновесия упругой сферической оболочки // Известия вузов. Сер. «Машиностроение». 1978. № 3.

V. Yu. Zhuravlev, M. V. Kubrikov

THE SOFTWARE ON REALISATION OF MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS REVERSING OF SEPARATORS OF FUEL TANKS

The article presents model of eversible metallic separators of fuel tank motors of satellites vehicles on the basis of the energy principle.

Keywords: thin-walled, end-plate-umbilical connector, fuel tank, turning over, cloth.

© Журавлев В. Ю., Кубриков М. В., 2010

УДК 539.3:621.396.67

А. В. Бельков, А. И. Величко, С. В. Пономарев, В. А. Солоненко

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДУВНОГО КОСМИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА

Рассматривается компьютерное моделирование крупногабаритного трансформируемого рефлектора КА надувного типа, основанного на постановке задачи механики деформируемого твердого тела.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние, надувной рефлектор.

Моделирование крупногабаритных трансформируемых и надувных конструкций рефлекторов является актуальным направлением разработки и создания конструкций систем спутниковой связи и зондирования поверхности Земли, так как экспериментальная отработка подобных конструкций требует больших материальных и временных затрат. Для решения современных задач требуются все более крупногабаритные антенны с высокой точностью формы зеркала рефлектора. Разработка таких конструкций, позволяющих улучшить качество приема и увеличить размеры зон сканирования, является одной из главных целей в области космических программ. Основные требования к конструкциям рефлекторов заключаются в высокой точности формы отражающей поверхности и наведения, высокой температурной стабильности и радиоотражающей способности антенных систем.

Модель надувного рефлектора ARISE, разрабатываемая компанией L'Garde, Inc, представлена на рис. 1 [1].

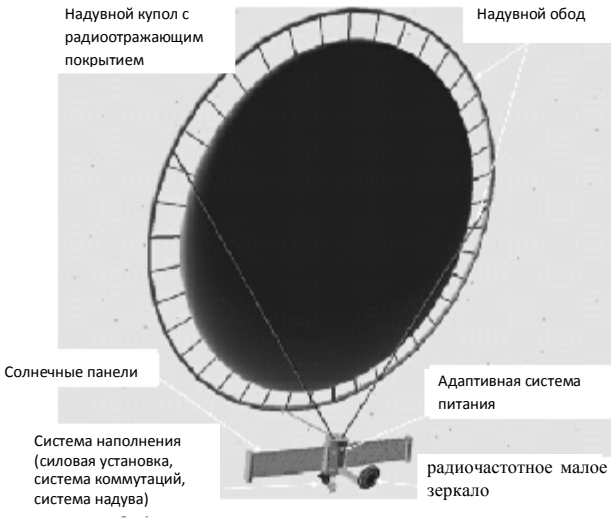


Рис. 1. Проектная модель надувной антенны ARISE

Задача о напряженно-деформированном состоянии подобных вантово-оболочечных конструкций формулируется с позиций нелинейной теории упругости и в вариационной постановке [2]. Решение задачи осуществлялось методом конечных элементов [3].

Связь деформаций с перемещениями рассматривается в виде

$$e_{\alpha\beta} = (1/2)(u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha} + u_{\theta,\alpha}u_{\theta,\beta}).$$

Компоненты тензора напряжений Кирхгофа и компоненты тензора деформаций связаны следующей зависимостью:

$$\sigma^{ij} = a^{ij\alpha\beta}\left(e_{\alpha\beta} - e^{T}_{\alpha\beta}\right).$$

Элементы матрицы упругости, зависящие от принадлежности к разнородным элементам конструкции и уровня предварительных напряжений рассчитываются по формуле

$$a^{ij\alpha\beta} = a^{ijkl}(X, \sigma^{(0)ij}).$$

Компоненты тензора температурных деформаций имеют вид

$$e^{T}_{\alpha\beta} = \vartheta \Delta T\, \delta_{\alpha\beta}.$$

Для конструкций рефлектора граничные условия в перемещениях задаются на части поверхности S_u конструкции рефлектора, где имеет место крепление к космическому аппарату

$$\boldsymbol{u} = \overline{\boldsymbol{u}}$$

на внешней части поверхности конструкции S_p в условиях космического пространства

$$\sigma^{\theta j} n_j(\delta_{ij} + u_{i,j}) = 0.$$

При моделировании наземных условий выполняется равенство

$$\sigma^{\theta j} n_j(\delta_{ij} + u_{i,j}) = p_{\text{а}},$$

где $p_{\text{а}}$ – атмосферное давление на поверхности Земли.

Таким образом, при известном температурном поле в элементах конструкции рефлектора задача МДТТ считается поставленной в замкнутой форме, так как количество определяемых функций перемещений соответствует количеству разрешающих уравнений. Для надувных конструкций на внутренних поверхностях надувных элементов, где действует давление газа p, имеет место краевое условие

$$\sigma^{\theta j} n_j(\delta_{ij} + u_{i,j}) = p_j.$$

Аналитическое решение подобных задач представляется затруднительным. Для получения приближенных численных решений выгоднее опираться на вариационные постановки:

$$\int_V \left\{\left(a^{ij\alpha\beta}(e_{\alpha\beta} - e^{T}_{\alpha\beta})\right)\delta e_{ij} - \boldsymbol{P}\cdot\delta\boldsymbol{r}\right\}dV - \int_{S_{p1}} (p_2 - p_1)\boldsymbol{n}\cdot\delta\boldsymbol{r}\cdot dS,$$

где $\boldsymbol{P}$ – вектор массовых сил; $\boldsymbol{F}$ – вектор поверхностных сил.

Трехмерная модель надувного космического рефлектора, построенная в программном комплексе ANSYS, представлена на рис. 2. За основу взята модель надувной антенны ARISE (см. рис. 1).

Исходным состоянием является конфигурация рефлектора, вытекающая из технического задания с нулевыми напряжениями в элементах конструкции. После задания требуемых краевых условий в элементах конструкции получается напряженная конфигурация, находящаяся в состоянии статического равновесия и обеспечиваю-

щая с достаточной точностью проектируемую форму отражающей поверхности рефлектора. Перемещения точек конструкции и возникающие в материале напряжения после приложения нагрузки в нашем случае давления показаны на рис. 3 и 4.

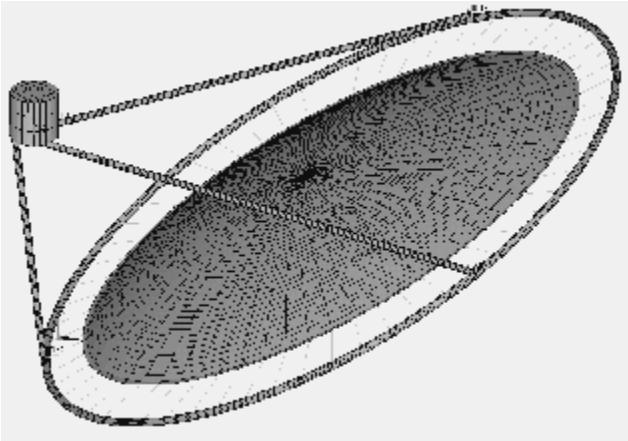


Рис. 2. Конечно-элементная 3D-модель надувного рефлектора

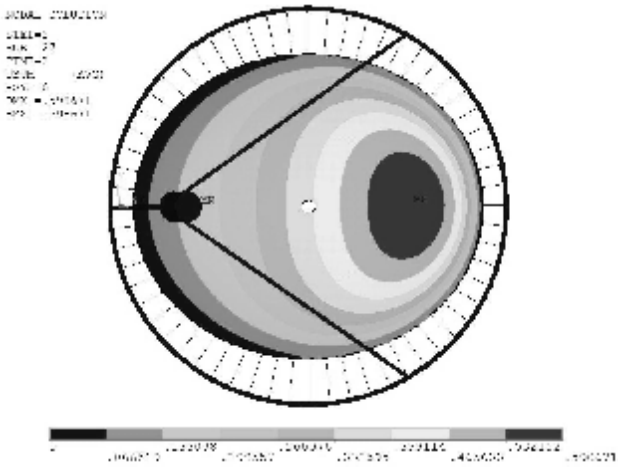


Рис. 3. Отклонения точек конструкции относительно начального ненапряженного состояния

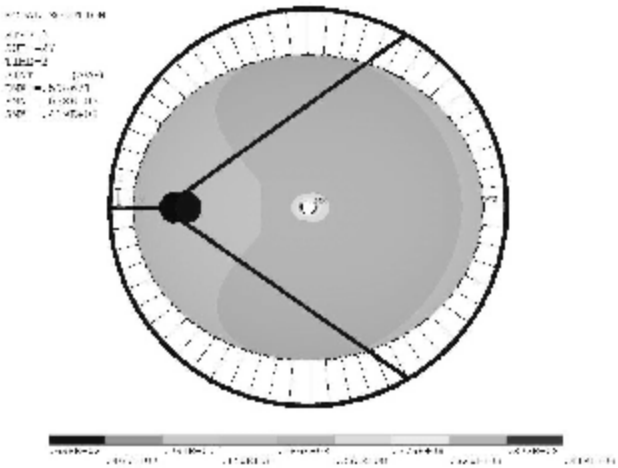


Рис. 4. Напряжения в элементах конструкции относительно начального ненапряженного состояния

Из проведенных вычислений следует, что основная нагрузка приходится именно на купол рефлектора, что объясняется значительно меньшей толщиной материала (рис. 3, 4). Исходя из этого и учитывая, что наиболее жесткие требования выдвигаются к отражающей поверхности, в дальнейшем будем рассматривать только ее с целью сокращения объемов вычислений.

Компьютерное моделирование показывает, что для оболочечных надувных конструкций имеет место масштабный фактор. Одной стороной его проявления является то, что при увеличении диаметра рефлектора и при уменьшении давления в куполе мы наблюдаем увеличение перемещений точек отражающей поверхности рефлектора относительно идеального параболоида.

Графики, на которых изображены перемещения точек отражающей поверхности в зависимости от радиуса конструкции при одинаковом значении давления в куполе и толщине материала, из которого он изготовлен, приведены на рис. 5.

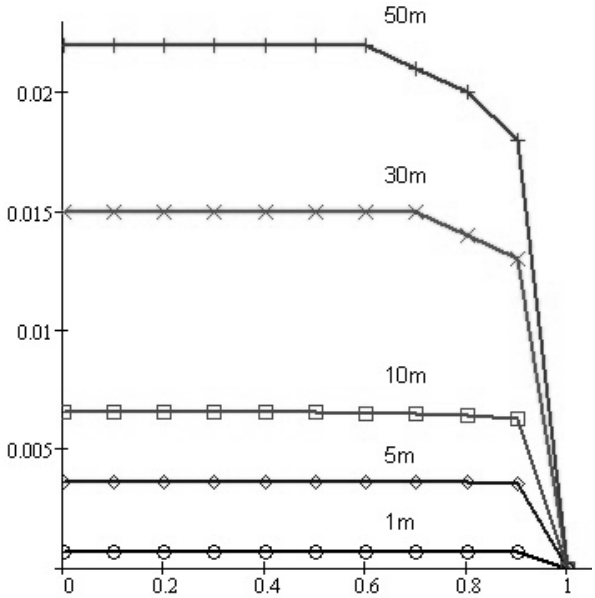


Рис. 5. Зависимости относительных перемещений точек отражающей поверхности от радиуса конструкции. По оси Y – перемещения, отнесенные к радиусу конструкции, по оси X – безразмерный радиус. Давление $p = 10$ Па; толщина пленки $h = 900$ мк; a – радиус конструкции

При надувании подобных конструкций в материале возникают сжимающие напряжения, приводящие к искажению формы отражающей поверхности на краю купола (рис. 6). Чтобы избежать искажения отражающей поверхности по периметру надувного купола, в радиальном направлении прикладывается внешняя растягивающая сила F, которая в реальной конструкции есть силовое воздействие от окружающего тора.

Зависимость приложенной по периметру в радиальных направлениях растягивающей погонной силы F, при которой в материале остаются только растягивающие напряжения, отнесенной к толщине материала h, из которого изготовлен купол, и модулю упругости, от диаметра конструкции изображена на рис. 7.

Зависимость напряжений, возникающих в материале надувного купола, от величины, приложенной растягивающей погонной силы, приводится на рис. 8.

Взяв только нижнюю часть купола и закрепив его по периметру, посмотрим, как меняется геометрия отражающей поверхности, и какие напряжения возникают в материале.

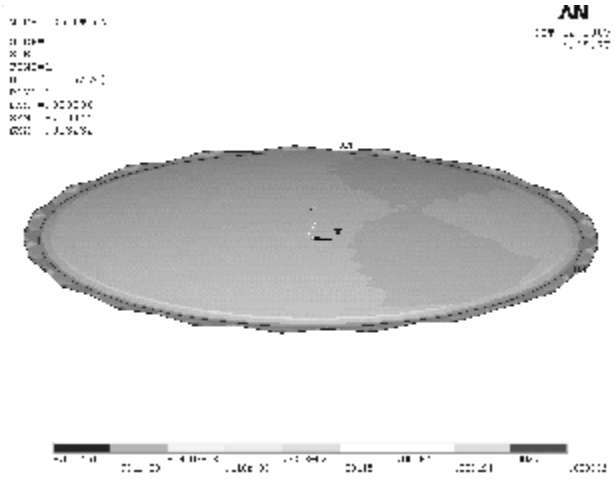


Рис. 6. Краевые искажения отражающей поверхности надувного рефлектора при внутреннем давлении 10 Па (для наглядности перемещения увеличены в 2 раза)

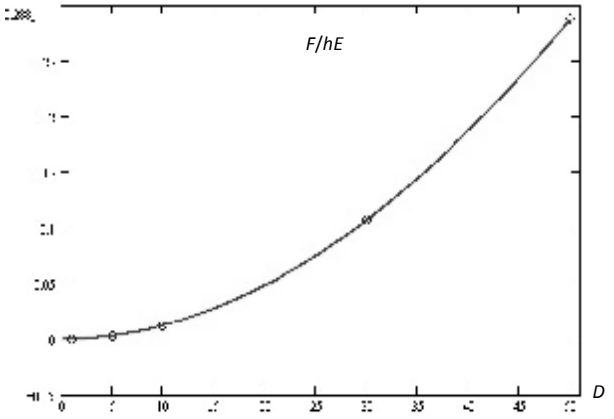


Рис. 7. Зависимость приложенной растягивающей силы для удаления искажений отражающей поверхности (F/hE, где h = 0,000 9 м) от диаметра конструкции

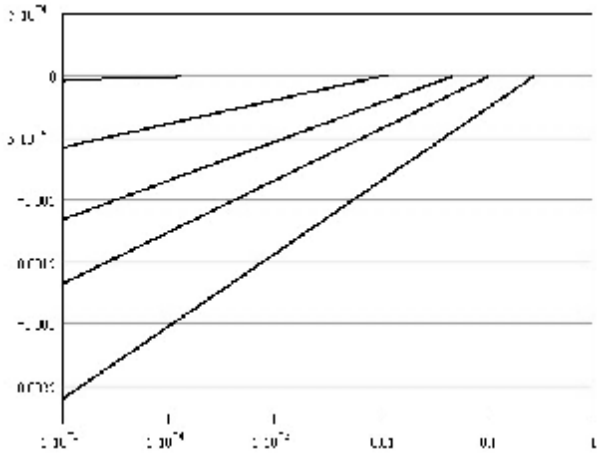


Рис. 8. Зависимость напряжений в надувном куполе от приложенной в радиальном направлении растягивающей силы в двумерном случае

Отклонения точек отражающей поверхности от идеального параболоида после приложения давления (надува конструкции) приводятся на рис. 9. Отсюда видно, что даже при таких граничных условиях имеют место довольно серьезные смещения точек отражающей поверхности. СКО составляет 141 мм.

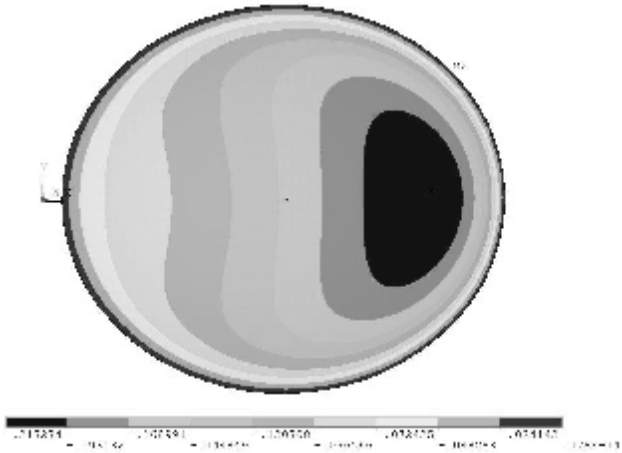


Рис. 9. Отклонения отражающей поверхности от идеального параболоида до регулировки ее начальной геометрии

Еще одной стороной масштабного фактора является рост напряжений в материале купола при увеличении размеров конструкции, что ведет к еще большей потере формы. Напряжения, возникающие в материале купола после приложения давления, показаны на рис. 10.

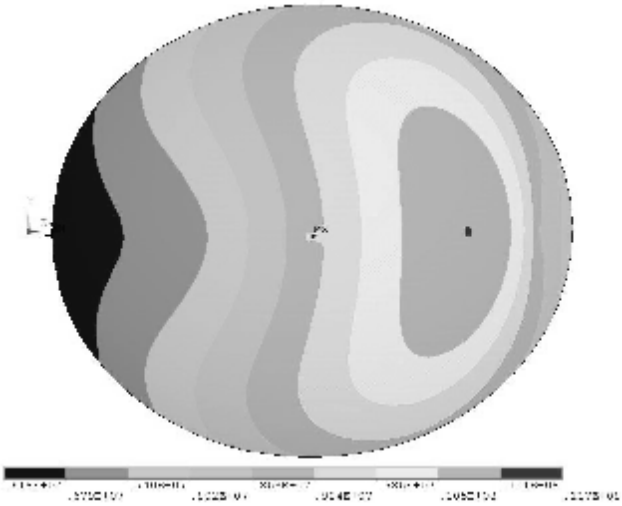


Рис. 10. Напряжения, возникающие в материале отражающей поверхности

Решение этих проблем осуществляется использованием в конструкции более жесткого надувного тора [4], фиксирующего купол с помощью растяжек и позволяющего корректировать форму отражающей поверхности, а также с помощью регулирования начальной формы отражающей поверхности рефлектора, т. е. изначально нам нужна поверхность с геометрией, несколько отличной от вырезки из родительского параболоида. Под регулировкой начальной формы подразумевается определение такой исходной геометрии

отражающей поверхности, что при подаче газа в купол рефлектора мы получим рабочую поверхность с требуемыми радиотехническими характеристиками. После проведения регулировки СКО равно 3,5 мм, т. е. находится в области допустимых значений. Отклонения точек отражающей поверхности от идеального параболоида после регулировки отображены на рис. 11. Видно, что центральная область отражающей поверхности имеет отклонения порядка 1 мм, но ближе к краю купола картина ухудшается. Это связано с кривизной поверхности офсетного параболоида и проиллюстрировано на рис. 9. На нем хорошо видна область максимальных отклонений.

Данные о величине выполненной регулировки позволяют изготовить отражающую поверхность, которая будет удовлетворять всем радиотехническим требованиям.

Поместив отражающую поверхность в поле сил тяжести и выполнив расчеты для двух положений «чаша вверх» и «чаша вниз» (см. рис. 12), мы выяснили, что разница положений ее точек между состоянием в невесомости и положениями «чаша вверх» и «чаша вниз» совпадает с точностью до третьего знака после запятой. Расхождение составляет менее 2 %, что может быть объяснено кривизной поверхности.

В результате проведенных расчетов приходим к выводу, что хотя на отражающей поверхности и присутствуют области с достаточно большими отклонениями от идеального параболоида, но это не мешает нам добиться того, чтобы значение СКО находилось в требуемых пределах (порядка 3…5 мм).

Библиографические ссылки

1. Greschik G., Mikulas M. M., Palisoc A. Torus-less inflated membrane reflector with an exact parabolic center // AIAA. 2004. Vol. 42. № 12. P. 2579–2584.

2. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М. : Мир, 1987.

3. Зенкевич О., Победри Б. Е. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975.

4. Лопатин А. В., Рутковская М. А. Оценка жесткости обода большой космической антенны // Королевские чтения : тез. докл. Всерос. молодеж. науч. конф. Т. 1. Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2003. С. 22–23.

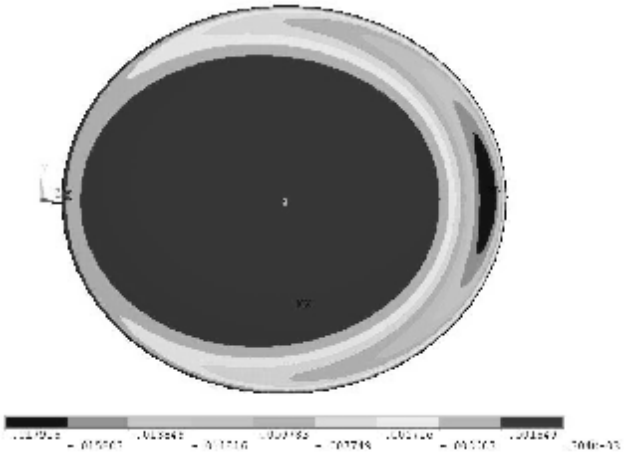


Рис. 11. Отклонения отражающей поверхности от идеального параболоида после регулировки ее начальной геометрии

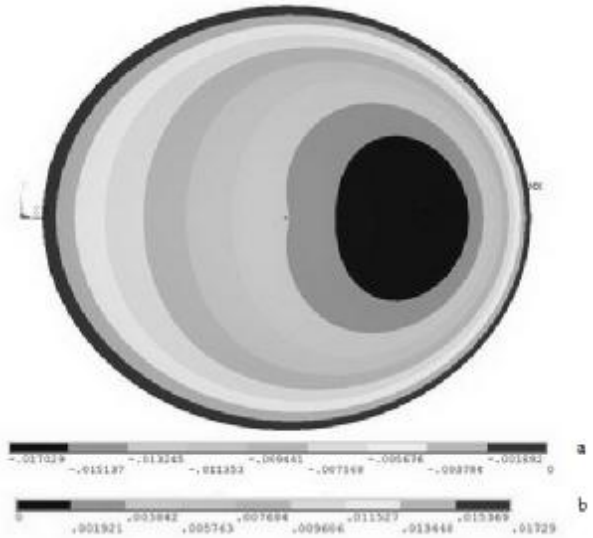


Рис. 12. Разница положений точек отражающей поверхности между положениями в невесомости: «чаша вверх» – шкала *a*; «чаша вниз» – шкала *b*

A. V. Belkov, S. V. Ponomarev, A. I. Velichko, V. A. Solonenko

MODELLING OF THE INFLATABLE SPACE REFLECTOR

Computer modeling of large-sized deployable reflector of the inflatable type for spacecraft, based on statement of problem of mechanics of a deformable firm body is considered in this article.

Keywords: computer modeling, intense-deformed condition, inflatable reflector.

© Бельков А. В., Величко А. И., Пономарев С. В., Солоненко В. А., 2010

УДК 629.783.051:681.3

К. А. Кондратьев, Н. Н. Шумаков, А. А. Колташев

АЛГОРИТМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В БОРТОВОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СПУТНИКОВ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ

Рассматриваются основные виды алгоритмов диспетчеризации, их особенности, классификация и применение при построении мультипрограммных вычислительных систем, а также реализация их в бортовом программном обеспечении спутников связи и навигации.

Ключевые слова: алгоритмы диспетчеризации, дисциплины обслуживания, бортовое программное обеспечение.

Одной из основных задач, выполняемых любой операционной системой, является задача распределения (планирования) ресурсов вычислителей между пользователями или выполняемыми вычислительными процессами (задачами). Основным ресурсом, требующим организованного распределения, является процессор. При построении ядра управляющей вычислительным процессом программы (диспетчера) может использоваться целый ряд различных методов и алгоритмов диспетчеризации вычислений.

Анализируя существующие методы организаций вычислений, можно выделить несколько основных принципов, дисциплин и аспектов реализации алгоритмов диспетчеризации:

– вытесняющие и невытесняющие дисциплины алгоритмов диспетчеризации;

– диспетчеризация на основе времени готовности к обслуживанию;

– диспетчеризация на основе приоритетов;

– диспетчеризация с квантованием;

– диспетчеризация с учетом хода выполнения процесса и его характеристик;

– диспетчеризация с применением механизмов межзадачного взаимодействия.

Вытесняющие и невытесняющие дисциплины алгоритмов диспетчеризации. Невытесняющая многозадачная дисциплина обслуживания – это такой способ организации облуживания процессов, при котором текущий активный процесс выполняется до тех пор, пока сам и по своей инициативе не отдаст управление диспетчеру для выбора и запуска следующего готового к исполнению процесса.

Вытесняющая многозадачная дисциплина обслуживания – это такой способ организации обслуживания, при котором решение о переключении к исполнению другого готового процесса принимает диспетчер, а не текущий активный процесс. При этом операционная система решает ряд следующих функций:

– определение момента переключения процессов;

– сохранение контекста текущей задачи;

– выбор на выполнение следующей готовой задач;

– загрузка контекста выбранной задачи и запуск ее на исполнение.

Диспетчеризация на основе времени готовности к обслуживанию. Самым распространенным параметром, лежащим в основе диспетчеризации, является время перехода в состояние готовности к обслуживанию вычислительного процесса. Анализируя существующие алгоритмы диспетчеризации, мы можем разделить их на следующие три группы:

1) диспетчеризация по принципу очереди: первым пришел – первым обслужен;

2) диспетчеризация по принципу стека: последним пришел – первым обслужен;

3) круговая диспетчеризация: последовательное выполнение процессов вне зависимости от их времени начала готовности к выполнению.

Диспетчеризация на основе приоритетов. При организации приоритетного распределения времени выполнения процессов, диспетчеризацию можно разделить по типу применяемых приоритетов:

– статические – вычислительные процессы имеют фиксированное значение приоритета. Как правило, распределение приоритетов проводится на этапе проектирования системы;

– динамические изменяемые – приоритеты вычислительных процессов могут меняться при необходимости и в зависимости от хода вычислений.

Приоритетную диспетчеризацию также можно разделить по объекту присвоения приоритета:

– диспетчеризация на основе приоритетов вычислительных процессов. Каждому процессу (задаче) сопоставляется определенное значение приоритета, в соответствии с которым он получает требуемый ему ресурс;

– диспетчеризация на основе приоритетов групп задач. Задачи делят на группы, которым присваивается определенное значение приоритета (в рамках своей группы задачи равноправны);

– диспетчеризация на основе приоритетов очередей. Ряд операционных систем реализует приоритетную диспетчеризацию путем сопоставления приоритетов не процессам и группам из них, а очередям готовых к выполнению задач. Каждой очереди соответствует свой уровень приоритета. Задача, приоритет которой следует изменить, перемещается в очередь соответствующего приоритета. В качестве примера можно привести алгоритмы диспетчеризации, использующие временные кванты: задача, выполнение которой превысило выделенный ей квант времени, переводится в очередь готовых к выполнению задач с более низким приоритетом и продолжит свое выполнение в случае отсутствия задач в очередях с более высоким значением приоритета.

Диспетчеризация с квантованием. В ряде операционных систем в процесс распределения ресурса между

потребителями вводится понятия кванта. Квант – это максимальный выделенный промежуток времени (порция), в течение которого ресурс предоставляется одному пользователю. Применяя это понятие к диспетчеризации процессорного времени, мы можем сказать, что каждый процесс выполняется на строго ограниченном промежутке времени (кванте), после чего управление передается следующему готовому к выполнению процессу.

Алгоритмы диспетчеризации с квантованием можно разделить на два вида:

– алгоритмы с равными квантами – каждому процессу в равной степени предоставляются одинаковые интервалы исполнения;

– алгоритмы с разной величиной квантов – процессам выделяются кванты различной длины в зависимости от условий, приоритетности и иных характеристик процесса.

Диспетчеризация с учетом хода выполнения процесса. Во многих операционных системах, в целях оптимизации хода вычислений, вводят систему штрафов по отношению к конкурирующим за ресурс процессам. Диспетчер уменьшает приоритет выполняющегося процесса в случае его некорректной работы. Некорректностью может быть превышение заявленного времени выполнения задачи, программные ошибки, содержащиеся в ней, а также любые запрещенные данному процессу действия, такие как, например, попытка записи в чужую область памяти, нарушение доступа к данным и т. д.

Диспетчеризация с учетом характеристик выполняющегося процесса. В ряде операционных систем, при организации распределения процессорного времени посредством сопоставления приоритетов процессам, учитываются их характеристики. Это может быть тип пользователя, от имени которого запущен процесс, требуемые процессом ресурсы (объем памяти, количество устройств ввода-вывода, с которым он работает), а также иные специфические характеристики процесса. Учет характеристик процесса при диспетчеризации позволяет оптимизировать общий ход вычислений.

Диспетчеризация с применением механизмов межзадачного взаимодействия.

Диспетчер любой мультипрограммной системы осуществляет координацию процессов и планирование очередности выполнения задач. Диспетчер получает управление при возникновении любого события, требующего прерывания выполнения текущего процесса. Это может быть внешнее прерывание от аппаратуры либо появление заявки на выполнения другого более приоритетного вычислительного процесса. В тех случаях, когда несколько процессов являются взаимозависимыми, и появляется необходимость обеспечения их синхронизации, в систему вводят ряд механизмов синхронизации межзадачного взаимодействия, самым распространенным из которых является семафор. Он представляет собой объект, содержащий численное значение. Выполняющиеся процессы могут осуществлять над ним функции захвата и освобождения. При захвате семафора его значение уменьшается на единицу, при освобождении – увеличивается; в случае нулевого значения семафора выполняющий операцию захвата процесс переходит в режим ожидания. Бинарный (двоичный) вариант семафора называется мьютексом, он широко применяется при синхронизации межзадачного взаимодействия в случае необходимости обеспечения доступа к общему ресурсу, владеть которым в определенный момент может только один потребитель. Общим ресурсом может быть файл, информационное поле или внешнее устройство ввода-вывода. Достаточно часто применяется вариант семафора с приоритетом, процесс, захвативший семафор, применяет к себе его приоритет, как правило, имеющий большее значение.

Состояния процессов при организации мультипрограммных систем. При организации мультипрограммной системы с диспетчеризацией вычислительных процессов, вводится понятие текущего состояния процесса. В различных операционных системах вычислительные процессы могут быть в следующих состояниях:

– выполнение – процесс (задача) в данный момент осуществляется процессором;

– готовность к выполнению – новый процесс не выполняется и ожидает возможности своего выполнения;

– прерванное – действие процесса было приостановлено для передачи управления более приоритетному процессу, процесс находится в состоянии ожидания возможности продолжить свое выполнение;

– ожидание – процесс находится в прерванном состояния до выполнения определенного набора заданных условий;

– приостановка – процесс не является подходящим для выполнения. Данное состояние используется в особых случаях.

Часть вычислительных систем, в зависимости от своего целевого назначения, позволяет прерывать выполнение не только пользовательских задач, но и выполнение самого ядра системы. Таким образом, достигается максимально быстрая реакция системы на внешние события. В свою очередь, при критичности выполнения текущего процесса, обработка прерываний может сводиться только к сохранению информации о нем (фиксация факта самого события), непосредственно обработка прерывания ядром системы будет произведена позже.

Диспетчеризация вычислительного процесса в бортовом программном обеспечении спутников связи и навигации. В бортовом программном обеспечении (БПО) спутников связи и навигации реализован мультипрограммный режим работы с приоритетной дисциплиной обслуживания задач с вытесняющей многозадачностью. Приоритеты являются постоянными и абсолютными, назначаются на этапе проектирования, исходя из общесистемных интересов, с учетом допустимого времени обслуживания задачи и времени ее работы. Каждой задаче соответствует определенное значение приоритета.

Приоритет задачи – число [0…255]. Наиболее приоритетная задача – задача с наименьшим численным значением приоритета. Первые несколько значений приоритетов зарезервированы для системных задач, а последнее значение 255 используется для специальной задачи «фоновая», которая выполняется процессором в случае отсутствия в системе любых других готовых к выполнению задач. Приоритет 0 является признаком запуска задачи с запретом внешних прерываний.

При совпадениях приоритетов более приоритетной является прерванная (ранее выполнявшаяся задача). При совпадении приоритетов прерванных задач, более приоритетной является та, которая поступила в очередь готовых задач раньше. При совпадении приоритетов для новых задач, более приоритетной задачей считается задача с меньшим номером. При совпадении приоритетов новой и прерванной задачи, более приоритетной считается прерванная задача.

Операционная система предоставляет ряд специальных функций для изменения приоритетов задач во время работы. Приоритеты могут быть изменены статически – путем корректировки таблицы задач, после чего задачи будут запускаться с новыми значениями приоритетов, либо динамически – изменение значения приоритета во время выполнения задачи.

В целях синхронизации межзадачного взаимодействия операционная система предоставляет ряд механизмов: двоичные семафоры с приоритетами, почтовые сообщения, флаги синхронизации, функции задержки выполнения задачи и запрет прерываний.

Соответствие приоритетов задачам и семафорам определяется на этапе проектирования. При некорректном распределении приоритетов между задачами, могут возникнуть «клинчи» вычислительного процесса.

Примером может случить конкуренция двух задач по захвату ресурсов. Две задачи захватили по одному разному ресурсу, входят в состояния ожидания освобождения, необходимого для продолжения работы ресурса, захваченного параллельной задачей. Таким образом, обе задачи находятся в прерванном состоянии, захватив ресурсы, необходимые друг другу для продолжения работы. Ситуация может усложниться многомерностью «клинча», когда целая цепочка вычислительных процессов таким образом блокирует выполнение друг друга.

Для решения данной проблемы ОС реализует протокол предельного приоритета при работе с бинарными (двоичными) семафорами с приоритетами:

– каждому семафору назначается приоритет, который больше или равен приоритету всех задач, использующих этот семафор; меньше приоритета всех задач, не использующих этот семафор, но более приоритетных, чем те, что его используют;

– когда задача получает семафор, приоритет задачи «немедленно» устанавливается к приоритету семафора;

– когда задача отдает семафор, ее приоритет устанавливается назад к приоритету, какой был у нее до захвата семафора.

Таким образом, если в данный момент семафор уже используется какой-либо задачей, другая задача, которой он понадобится, не запустится на выполнение или не продолжится, до его освобождения.

Приоритетная дисциплина облуживания и мультипрограммный режим выполнения вычислений в настоящее время являются необходимыми условиями реализации любой современной и эффективной операционной системы реального времени. Алгоритмы диспетчеризации с динамически изменяющимися приоритетами и вытесняющей дисциплиной обслуживания позволяют оптимизировать общий ход вычислений, улучшать время реакции системы на события, а также делать дальнейшее сопровождение системы удобным и более эффективным.

C. A. Kondratev, N. N. Shumakov, A. A. Koltashev

COMPUTING ALGORITHMS DISPATCHING AND USE IN NAVIGATION AND COMMUNICATION SATELLITES ON-BOARD SOFTWARE

The article considers the main types of algorithms of dispatching, their special features, classification and their usage in design of multi-program computing system, as well as their realization in navigation and communication satellites on-board software.

Keywords: dispatching algorithms, service procedures, on-board software.

© Кондратьев К. А., Шумаков Н. Н., Колташев А. А., 2010

УДК 629.783.051:681.3

К. А. Кондратьев, Н. Н. Шумаков, П. М. Ерохов, А. В. Хохлова, А. А. Колташев

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИЗБЫТОЧНОСТИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В БОРТОВОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ДЛЯ НАДЕЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СПУТНИКОВ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ

Рассматриваются основные виды избыточности, применяемые при проектировании программного обеспечения, их применение и реализация в бортовом программном обеспечении спутников связи и навигации для повышения надежности функционирования вычислительной системы в целом, ее устойчивости при обнаружении ошибок и методы их предупреждения.

Ключевые слова: избыточность, надежность, бортовое программное обеспечение.

Проектирование и разработка программного обеспечения для спутников связи и навигации является областью, в которой наличие ошибок или в целом низкий уровень надежности разрабатываемого программного обеспечения может привести к значительным экономическим потерям.

Надежность системы, как ее характеристика, определяется способностью выполнять требуемые функции при определенных условиях за определенный период времени.

Все существующие методы обеспечения надежности программного обеспечения можно классифицировать по нескольким критериям, однако разнообразие методов не дает возможности четко выделить только один метод в качестве основного. Тем не менее, среди методов предупреждения ошибок и устойчивости к ним выделяются методы их обнаружения, которые базируются на введении в программное обеспечение различных видов избыточности.

При проектировании бортового программного обеспечения (БПО) широко применяются следующие виды избыточности:

1) временная избыточность, которая заключается в том, что часть производительности системы используется для дополнительного контроля и восстановления работоспособности;

2) информационная избыточность, представляющая собой всевозможные виды дублирования и резервирования данных, а также восстановление данных в случае обнаружения их искажения;

3) программная избыточность, которая заключается во взаимном недоверии компонент системы, проверке входных данных, регистрации ошибок, формировании отчетной и контрольной информации.

Применение метода временной избыточности при организации вычислительного процесса. При организации вычислительного процесса ядро системы постоянно осуществляет следующие проверки:

– при работе с очередями задач ОС всегда проводит проверку очередей на корректность;

– при прерываниях выполняющейся задачи ОС проводит проверку на корректность использования задачей выделенного стека;

– периодически и по аномальным исключениям ОС проводит контроль целостности системных таблиц путем подсчета контрольной суммы таблицы и сравнения полученного значения с эталонным;

– периодически и по аномальным исключениям ОС проверяет корректность кода программ в ОЗУ путем подсчета контрольной суммы их кода и сравнения полученного значения с эталонным; при обнаружении искажения кода код программы восстанавливается с ППЗУ.

Применение метода информационной избыточности в БПО. Применение метода заключается в следующем:

1. Для организации контроля и восстановления системных таблиц, каждая из них имеет свой дубликат и восстанавливается по нему в случае искажения рабочего экземпляра.

2. Для повышения надежности хранения и защиты системных таблиц ОС организуется программный интерфейс по изменению данных в системных таблицах. Для изменения таблиц программы обращаются к соответствующей функции, передав ей новые значения данных. Изменения системных таблиц, посредством прямого доступа к ним, не допускаются.

3. При организации одноуровневой файловой системы на ВЗУ для повышения надежности используется метод коррекции ошибок, аналогичный дисковому массиву RAID первого уровня (зеркало) – каждый файл имеет свою копию. При чтении файла считывается корректная копия, а при обнаружении искажения одного из экземпляров файла он восстанавливается информацией с параллельного.

Применение методов программной избыточности при проектировании компонент БПО. Применение метода заключается в следующем:

1. При проектировании БПО применяется общий подход к построению компонент системы. Исходя из принципа взаимного недоверия, предполагается, что другие компоненты системы и исходные данные могут содержать ошибки, поэтому первым шагом при проектировании новой компоненты будет организация проверки входных данных. Проводится анализ входных данных на допустимость значений. При их недопустимости программная компонента завершает свое выполнение с формированием отрицательной квитанции и отчетной информации.

2. Отчетная информация, как правило, оформляется в виде фразы, которая помещается в отчетное поле, представляющее собой выделенную в ОЗУ область памяти. Принцип заполнения отчета может быть кольцевым или в линейку, а формирование фразы может сопровождаться индикатором экстренного реагирования (фразы по критическим ситуациям и отказам аппаратуры).

Общая структура фраз:

– идентификатор фразы;

– время формирования;

– идентификатор компоненты, формирующей фразу – номер задачи или функции, при выполнении которой была сформирована фраза;

– идентификатор типа фразы – по типу ошибки или сложившийся недопустимой ситуации;

– содержимое фразы: рабочие параметры, входные данные и другая служебная информация, требуемая для дальнейшего анализа.

3. В процессе своего выполнения программные компоненты формируют дополнительную служебную и отчетную информацию, которая оформляется в виде специальных информационных массивов для более детального анализа хода выполнения вычислительно процесса и развития аномальных ситуаций.

Применение методов ввода избыточности в программное обеспечение повышает надежность и предсказуемость выполнения как отдельно компонент системы, так и всей системы в целом. Вычислительная система становится более устойчивой к ошибкам.

C. A. Kondratev, N. N. Shumakov, P. M. Erohov, A. V. Hohlova, A. A. Koltashev

THE MAIN TYPES OF REDUNDANCY THAT ARE USED FOR DESIGN OF NAVIGATION AND COMMUNICATION SATELLITES RELIABLE OPERATION SOFTWARE

The article considers the main types of redundancy that are used at the stage of software designing, their application and realization as a part of on-board software for navigation and communication satellites; for increasing the reliability of computing system functioning in a whole, its stability in case of errors and the methods for error preventing.

Keywords: redundancy, reliability, on-board software.

© Кондратьев К. А., Шумаков Н. Н., Ерохов П. М., Хохлова А. В., Колташев А. А., 2010

УДК 621.892

С. И. Васильев, А. С. Попов, Б. И. Ковальский

МЕТОД КОНТРОЛЯ ВЛИЯНИЯ ДОЛИВОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ РЕСУРСА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Представлены результаты исследования влияния доливов на процессы окисления моторных масел. Предложены критерии оценки влияния доливов на ресурс моторных масел.

Ключевые слова: термоокислительная стабильность, доливы, летучесть, коэффициент поглощения светового потока, коэффициент термоокислительной стабильности, коэффициент увеличения ресурса.

В процессе эксплуатации спецтранспорта аэропортов для обслуживания воздушных судов основными показателями ресурса моторных масел двигателей внутреннего сгорания приняты пробег (км) или наработка (м-час). Наряду с удобством пользования этими показателями они не способствуют эффективному применению моторных масел, так как не учитывают режимы работы, техническое состояние системы фильтрации цилиндропоршневой группы и самого масла двигателя. В изношенных двигателях увеличивается частота и объем доливаемого масла, вследствие его угара, при этом качество моторного масла частично восстанавливается и ресурс его изменяется. Для учета влияния этого эксплуатационного фактора необходимо использование сложных и дорогостоящих средств контроля состояния моторных масел в процессе эксплуатации двигателей, которыми в большинстве случаев технические службы аэропортов не оснащаются.

Для исследования моторных масел предложена методика выбора моторного масла, учитывающая показатели термоокислительной стабильности, а также определения изменения ресурса моторных масел разных основ и групп эксплуатационных свойств, позволяющая оценить увеличение доливов масла в процессе эксплуатации двигателей на ресурс с помощью измерения его термоокислительной стабильности.

Методика исследования предусматривает применение прибора для определения термоокислительной стабильности, состоящего из стеклянного стакана, оснащенного электронагревателем, изолированным от внешней среды и помещенным в металлический каркас цилиндрической формы. Электронагреватель соединен с измерительным блоком и встроен в схему задания и автоматической стабилизации температуры. Температура измеряется с помощью термопары хромель-капель. Во время испытания дозированная проба масла перемешивается в

стеклянной мешалке с постоянной частотой вращения 300 об/мин.

В процессе окисления отбирается проба моторного масла для фотометрирования и определения коэффициента поглощения светового потока и вязкости. После каждого испытания стакан с пробой масла взвешивается для определения массы испарившегося масла.

Испытания проводятся в два этапа: на первом этапе масло окисляется без доливов, а на втором этапе осуществляется долив до постоянной массы пробы 100 г. Это позволяет учитывать влияние доливов на окисление испытуемого масла.

Достоверность полученных результатов обоснована в работе [1]. Погрешность измерений не превышает 6 %.

Термоокислительная стабильность масла оценивалась по коэффициенту поглощения светового потока, изменению вязкости и летучести.

Технология измерения термоокислительной стабильности моторных масел предусматривает использование прибора для определения термоокислительной стабильности, фотометра, малообъемного вискозиметра и электронных весов, блок-схема которой представлена на рис. 1.

Испытания приводились при трех температурах, величина которых устанавливается по техническим условиям или экспериментально в зависимости от назначения смазочного масла. В качестве примера рассмотрены моторные масла минеральные (М10-Г$_2$к, «Лукойл Стандарт» 10W-40 SF/CC), частично синтетическая («Лукойл Супер» 10W-40 SG/CD), синтетические («Лукойл Синтетик» 5W-40 SL/CF; Mannol Elite 5W-40 SL/CF и Castrol Magnatec 5W-40 SL/CF).

Зависимости коэффициента поглощения светового потока $K_п$ от времени и температуры испытания представлены на рис. 2. Для сравнения масел удобнее пользоваться не временем испытания, так как оно увеличивается при понижении температуры испытания, а параметрами коэффициента поглощения светового потока. Если принять за постоянное значение коэффициента поглощения светового потока равным 0,6 ед., то время достижения этого показателя для испытанных масел при температуре 180 °С и без доливов составит для масел (рис. 2, *а*): М10-Г$_2$к (кривая *1*) – 44 ч; «Лукойл Стандарт» (кривая *2*) – 62 ч; «Лукойл Супер» (кривая *3*) – 76 ч; «Лукойл Синтетик» (кривая *4*) – 272 ч; «Mannol Elite» (кривая *5*) – 50 ч; «Castrol Magnatec» (кривая *6*) – 64 ч. Из представленных данных видно, что наивысшей термоокислительной стабильностью характеризуется синтетическое масло Лукойл синтетик (кривая *4*), кроме того, полученные данные определяют влияние доливов на термоокислительную стабильность.

Представленные данные показывают, что при температуре испытания 180 °С классификация масел по группам эксплуатационных свойств не соответствует. Так, частично синтетическое масло «Лукойл Супер» (кривая *3*) не уступает по показателю изменения оптических свойств синтетическим маслам Mannol Elite (кривая *5*) и Castrol Magnatec (кривая *6*).

При температуре испытания 170 °С (рис. 2, *б*) происходит повышение термоокислительной стабильности по коэффициенту $K_п$ у масла Mannol Elite (кривая *5*), однако синтетическое масло Castrol Magnatec (кривая *6*) уступает по этому показателю маслам *3*, *4* и *5* и только при температуре испытания 160 °С оно превышает показатель термоокислителительной стабильности частично синтетического масла «Лукойл Супер» (кривая *3*).

Представленные результаты указывают на необходимость совершенствования системы классификации моторных масел. Согласно данным при температуре 180 °С может работать масло «Лукойл Синтетик» (кривая *4*), а при 170 °С к нему присоединяются масла 5 (Mannol Elite) и «Лукойл Супер» (кривая *3*). При температуре 160 °С могут работать все масла, но ресурс их будет существенно отличаться.

Летучесть моторных масел (рис. 3) представлена для температур 180, 170 и 160 °С. Наименее летучими при температуре 180 °С характеризуются масла М10-Г$_2$к (кри-

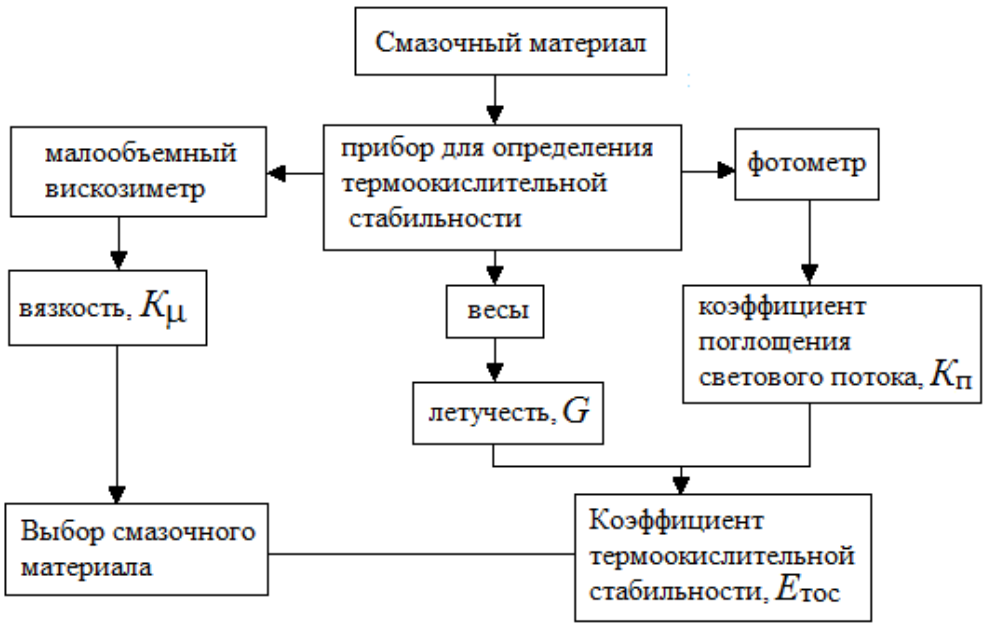


Рис. 1. Блок-схема технологии определения термоокислительной стабильности смазочных материалов

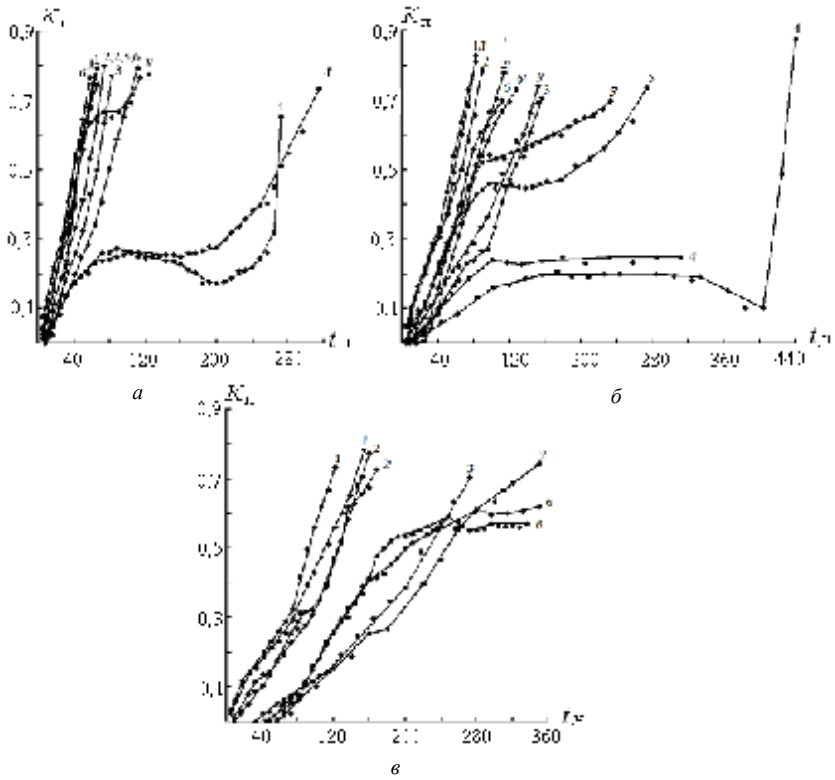


Рис. 2. Зависимости коэффициента поглощения светового потока от времени и температуры испытания моторных масел: *а* – 180 °С; *б* – 170 °С; *в* – 160 °С: *1* – М10-$Г_2$к; *2* – «Лукойл Стандарт» 10W-40 SF/CC; *3* – «Лукойл Супер» 10W-40 SG/CD; *4* – «Лукойл Синтетик» 5W-40 SL/CF; *5* – «Mannol Elite» 5W-40 SL/CF; *6* – «Castrol Magnatec» 5W-40 SL/CF; цифры без штриха – испытания без доливов; цифры со штрихом – испытания с доливами масла

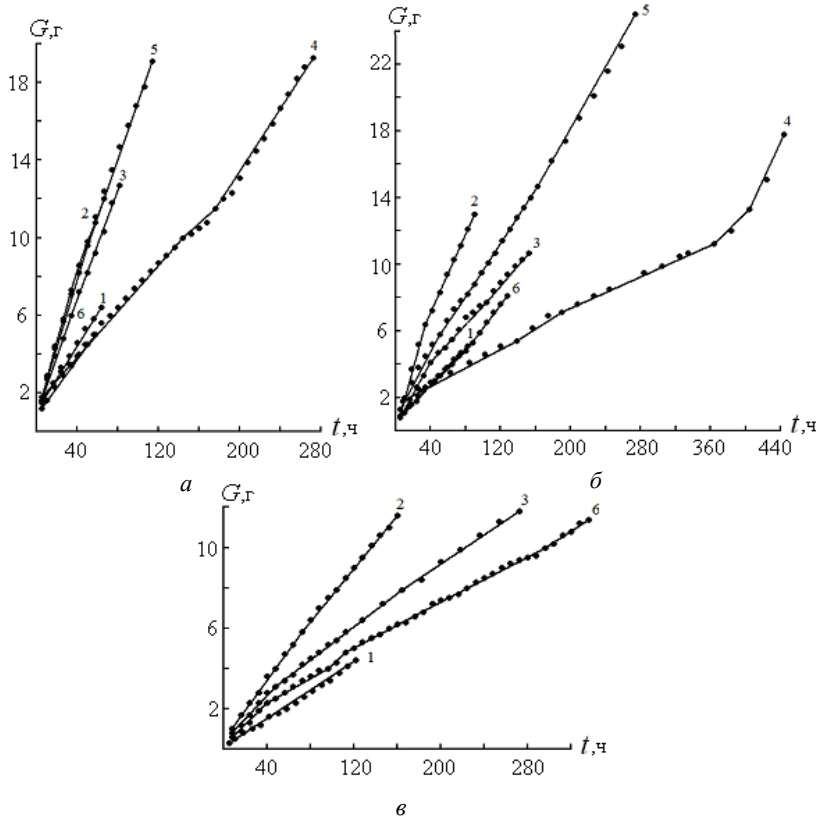


Рис. 3. Зависимость летучести от времени и температуры испытания моторных масел: *а* – 180 °С; *б* – 170 °С; *в* – 160 °С (усл. обозн. см. на рис. 2)

вая *1*) и «Лукойл Синтетик» (кривая *4*). Остальные масла различаются по этому показателю при данной температуре незначительно.

С понижением температуры испытания до 170 °С наименее летучим характеризуется масло «Лукойл Синтетик» (кривая *4*), а наиболее лучшим – масло «Лукойл Стандарт» (кривая *2*). При температуре 160 °С масло *2* имеет наибольшую летучесть.

Изменение вязкости в процессе окисления масел вызвано образованием продуктов окисления и испарением, поэтому этот показатель определяет предел их работоспособности и пусковые свойства в холодное время года. Зависимости коэффициента относительной вязкости от времени и температуры испытания представлены на рис. 4. Коэффициент относительной вязкости определяется отношением вязкости окисленного масла к вязкости исходного (товарного масла).

При температуре испытания 180 °С (рис. 4, *а*) наибольшим уменьшением вязкости до 28 % характеризуется масло «Лукойл Синтетик» (кривая *4*), минеральное масло М10-$Г_2$к (кривая *1*) и частично синтетическое «Лукойл Супер» (кривая *3*), которые склонны к увеличению вязкости на величину от 10 до 14 %. Наиболее стабильной вязкостью характеризуются синтетическое масло Mannol Elite (кривая *5*) и минеральное «Лукойл Стандарт» (кривая *2*).

При температуре испытания 170 °С (рис. 4, *б*) наибольшее уменьшение вязкости наблюдается у синтетических масел «Лукойл Синтетик» (кривая *4*) и Mannol Elite (кривая *6*). Более стабильная вязкость у масла *2* («Лукойл Стандарт»), а у масел *1*, *3* и *5* наблюдается увеличение вязкости. Однако при температуре 160 °С все масла характеризуются более стабильной вязкостью, что может быть вызвано одинаковым составом продуктов окисления. На колебание вязкости оказывает влияние объем доливов.

Основными показателями, определяющими термоокислительную стабильность масел, являются коэффициент поглощения светового потока и летучесть, которую можно выразить коэффициентом летучести, определяемым как отношение массы и испарившегося масла к массе, оставшейся после испытания K_G. Эти два показателя определяют количество тепловой энергии, преобразованной в продукты окисления и испарения, поэтому сумма коэффициентов поглощения светового потока и летучести названа коэффициентом термоокислительной стабильности, который предложен в качестве критерия эксплуатационных свойств. Данный критерий определяет термодинамические процессы преобразования тепловой энергии в продукты окисления и испарения и характеризует самоорганизацию смазочного материала как защитную функцию, которая проявляется в сбрасывании избыточной тепловой энергии.

Зависимости термоокислительной стабильности $E_{тос}$ от времени и температуры испытания моторных масел без доливов и с доливами представлены на рис. 5. Согласно данным (рис. 5, *а*) при температуре 180 °С наибольшей термоокислительной стабильностью характеризуется синтетическое масло «Лукойл Синтетик» (кривая *4*). Доливы масла при его окислении ускоряют процессы окисления после 40 ч испытания, а при значениях коэффициента $E_{тос} > 0{,}7$ единиц ресурс масла увеличивается.

Для минеральных масел М10-$Г_2$к (кривые *1*, *1′*), «Лукойл Стандарт» (кривые *2*, *2′*) и частично синтетического «Лукойл Супер» (кривые *3*, *3′*) окислительные процессы при доливах замедляются, а для синтетических масел Mannol Elite (кривые *5*, *5′*) и Castrol Magnatec (кривые *6*, *6′*) доливы не оказывают влияния на процессы окисления.

При понижении температуры испытания до 170 °С (рис. 5, *б*) термоокислительная стабильность синтетического масла Mannol Elite (кривые *5*, *5′*) повышается по сравнению с другими маслами, однако для всех синтетических масел доливы ускоряют процессы окисления.

Для температуры испытания 160 °С (рис. 5, *в*) термоокислительная стабильность частично синтетического масла «Лукойл Супер» (кривые *3*, *3′*) и синтетического Castrol Magnatec (кривые *6*, *6′*) значительно превышает этот показатель для минеральных масел (кривые *1* и *2*).

По представленным результатам при температуре 180 °С работоспособным является синтетическое масло «Лукойл Синтетик», а при температуре 170 °С можно рекомендовать синтетическое масло Mannol Elite, 160 °С – частично синтетическое «Лукойл Супер» и синтетическое Castrol Magnatec. Минеральные моторные масла могут рекомендоваться к применению при температурах эксплуатации ниже 160 °С, однако необходимо отметить, что все исследованные масла могут работать в диапазоне температур от 160 до 180 °С, но ресурс их будет определяться показателем термоокислительной стабильности.

Влияние доливов на ресурс моторных масел учитывается коэффициентом увеличения ресурса $K_{ур}$, определяемым при различных значениях коэффициента термоокислительной стабильности. Для определения коэффициента $K_{ур}$ проводятся испытания масел при трех температурах, находится изменение таких параметров окисления, как коэффициент поглощения светового потока, летучесть и коэффициент термоокислительной стабильности $E_{тос}$ от времени испытания. Затем определяется время окисления масла до значения коэффициента $E_{тос}$ равного от 0,1 до 0,8 ед., через 0,1 ед. с учетом доливов и без них.

Зависимости коэффициента увеличения ресурса от коэффициента термоокислительной стабильности и температуры испытания представлены на рис. 6. Для минеральных масел (рис. 6, *а*) М10-$Г_2$к (кривая *1*), «Лукойл Стандарт» (кривая *2*) и частично синтетического масла «Лукойл Супер» (кривая *3*) при температуре 180 °С наблюдается увеличение ресурса при доливах, причем для масел *2* и *3* увеличение происходит при малых значениях коэффициента $E_{тос}$.

Для синтетических масел при этой температуре увеличения ресурса не наблюдается, более того, для масла «Лукойл Синтетик» (кривая *4*) характерно уменьшение ресурса в диапазоне значений коэффициента $E_{тос}$ от 0,3 до 0,7 ед., а для масла Castrol Magnatec (кривая *6*) доливы не оказывают влияния при всех значениях коэффициента $E_{тос}$. С понижением температуры испытания до 170 °С (рис. 6, *б*) для масел «Лукойл Стандарт» (кривая *2*) и «Лукойл Супер» (кривая *3*) сохраняется тенденция увеличения ресурса при доливах, а для остальных масел доливы уменьшают ресурс. Значительное уменьшение ресурса при доливах характерно для синтетических масел «Лукойл Синтетик» и Mannol Elite (кривые *4* и *5*), которое

составляет 50 и 40 % для каждой из марок указанных масел .

При температуре 160 °С (рис. 6, *в*) снижение ресурса при доливах наблюдается для минерального масла. Для «Лукойл Стандарт» (кривая *2*) ресурс снижается на 7 %, для остальных масел ресурс увеличивается.

Таким образом, применение коэффициента увеличения ресурса позволяет определить температурную динамику его изменения в процессе окисления масла и, как следствие, рассчитать изменение ресурса.

Использование предложенных средств контроля и методики исследования позволяет получить необходимую информацию о термоокислительных процессах при доливах и обоснованно осуществлять выбор смазочных материалов для определенных температурных условий.

Библиографическая ссылка

1. Метелица А. А. Метод контроля влияния стали 45 на процессы термоокисления масла М10-$Г_{2к}$: дис. … канд. техн. наук. М., 2009.

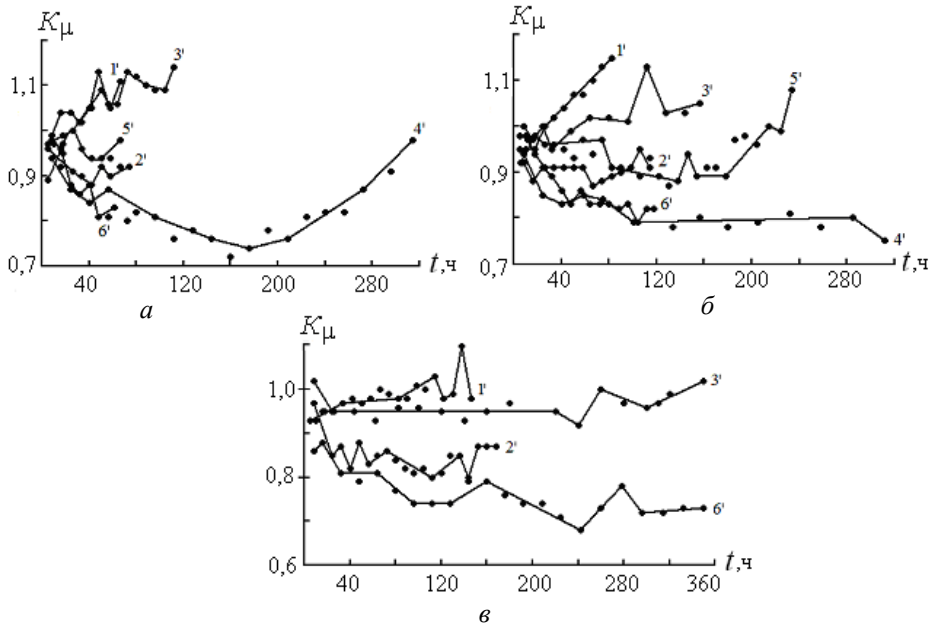


Рис. 4. Зависимости коэффициента относительной вязкости от времени и температуры испытания моторных масел: *а* – 180 °С; *б* – 170 °С; *в* – 160 °С

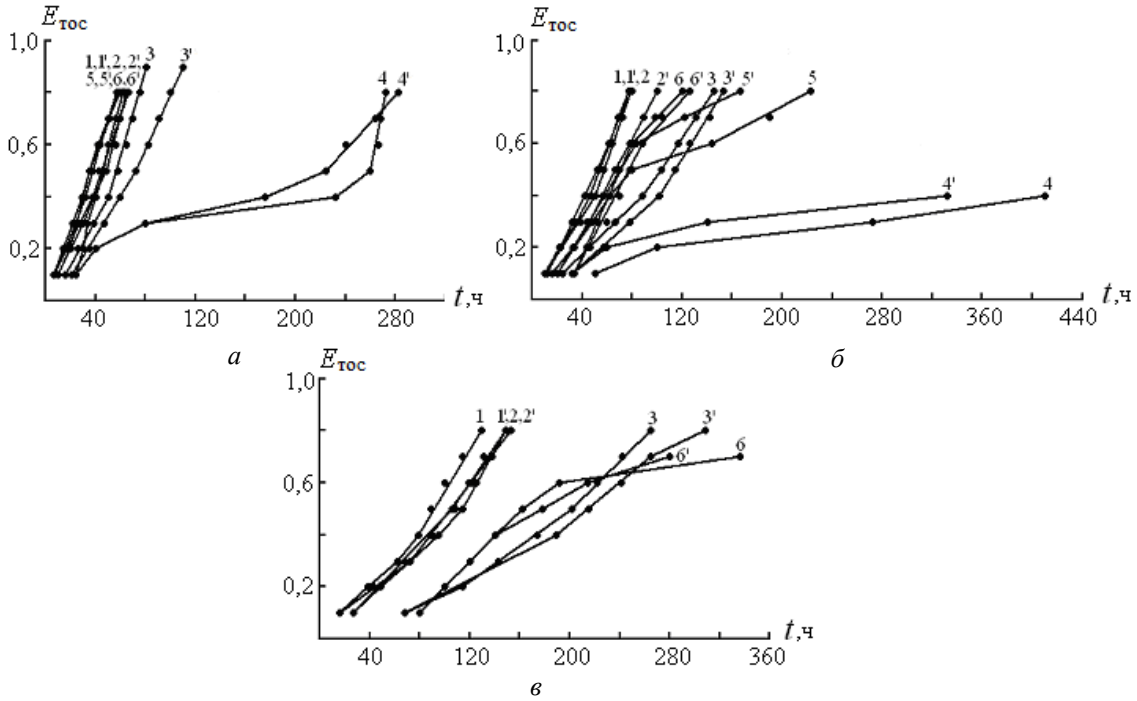


Рис. 5. Зависимость коэффициента термоокислительной стабильности от времени и температуры испытания моторных масел: *а* – 180 °С; б – 170 °С; *в* – 160 °С: цифры со штрихом – испытания с доливами; цифры без штриха – испытания без доливов

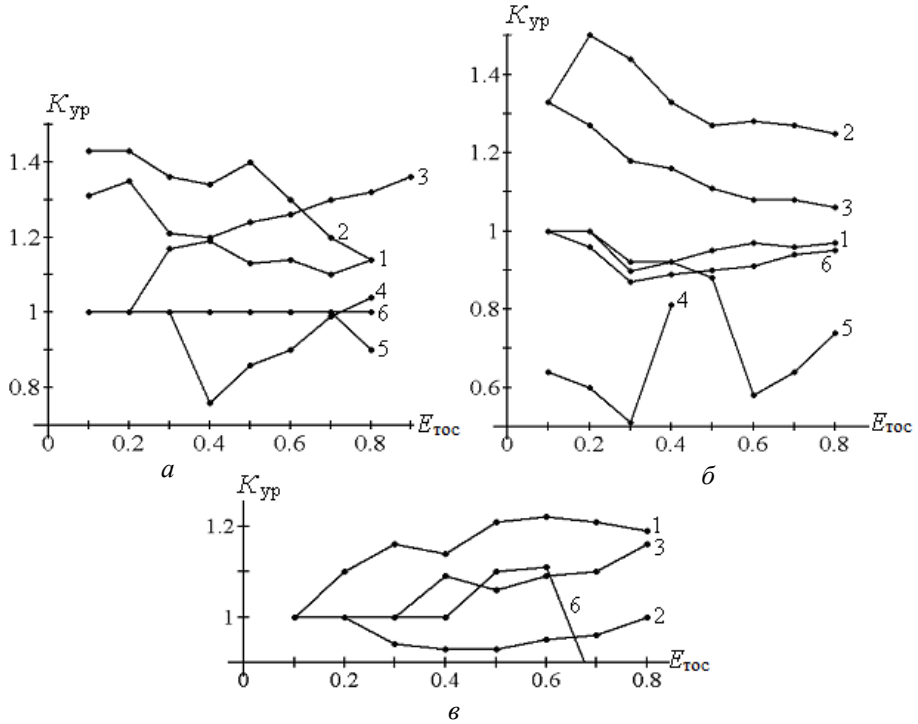


Рис. 6. Зависимость коэффициента увеличения ресурса при доливах от коэффициента термоокислительной стабильности и температуры испытания моторных масел: *а* – 180 °С; *б* – 170 °С; *в* – 160 °С

S. I. Vasiljev, A. S. Popov, B. I. Kovalskiy

METHOD OF CONTROL OF TOPPING-UP EFFECTS INFLUENCE ON CHANGE OF MOTOR OILS RESOURCE

The article presents results of research of topping-up effects influence on processes of oxidation of motor oils. Criterion of estimation of topping-up effects influence on motor oils resource is offered.

Keywords: thermal-oxidative stability, topping-up effects, volatility, factor of absorption of light stream, factor of thermal-oxidative stability, factor of resource increase.

© Васильев С. И., Попов А. С., Ковальский Б. И., 2010

УДК 681.586.73:(62+167/168)

Ю. В. Чугуй

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Представлены результаты работ Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук (КТИ НП СО РАН) по разработке, созданию и поставке новейших измерительных и лазерных технологий и систем для решения проблем безопасности в ядерной энергетике, на железнодорожном транспорте, в нефтедобывающей промышленности и в других отраслях. Приводятся технические характеристики ряда созданных приборов и систем.

Ключевые слова: оптические измерительные технологии, лазерные технологии, безопасность, ядерный реактор, дистанционирующая решетка, метод структурного освещения, триангуляционный метод.

Повышение безопасности стратегических объектов в ведущих отраслях страны, улучшение качества продукции и снижение ее себестоимости – одна из неотложных задач российской экономики. Для решения этой задачи КТИ НП разработаны, созданы и внедрены на предприятиях страны десятки новейших измерительных систем. Перечислим наиболее значимые среди систем контроля геометрии трехмерных промышленных изделий и объектов: для железнодорожного транспорта – автоматизированная система контроля геометрии колесных пар грузовых вагонов на ходу поезда, автоматическая система измерения износа контактного провода при движении; для атомной промышленности – серия различных оптико-электронных систем измерения геометрических размеров и поверхностных дефектов элементов топливных сборок ядерных реакторов; для космической отрасли – программируемый цеховой комплекс контроля в реальном времени формы ответственных крупногабаритных 3D-изделий на основе распределенных оптоэлектронных датчиков; для нефтегазодобывающей отрасли – автоматическое оптико-электронное устройство круглосуточного измерения смещений и деформаций элементов механических и инженерных конструкций. Они выгодно отличаются от своих аналогов не только по совокупности параметров, но и по идеям, лежащим в основе технических решений, использованных для разработки этих систем, что подтверждается как их апробацией на различных международных конференциях, так и надежной многолетней промышленной эксплуатацией.

Приведем описания и технические характеристики некоторых систем.

Оптико-электронная лазерная измерительная машина контроля основных геометрических параметров дистанционирующих решеток. Система (рис. 1) предназначена для автоматического бесконтактного трехмерного контроля с микронным разрешением всех геометрических параметров дистанционирующих решеток (ДР) тепловыделяющих сборок ядерных реакторов (количество ячеек > 300 шт.).

Принцип действия лазерной измерительной машины (ЛИМ) основан на анализе изображений ячеек ДР, освещенных тремя матрицами в виде 12×13 световых пучков. Рассеянный поверхностями ячейки свет воспринимается тремя ПЗС-камерами, сигнал с которых передается в компьютер для вычисления геометрических параметров ячейки. Использование двухкоординатного прецизионного сканирующего стола позволяет получить информацию о всех ячейках ДР и ее геометрии в целом. Производительность такой машины в 300 раз больше, чем производительность существующих координатно-измерительных машин. Система с 2003 г. находится в промышленной эксплуатации в ОАО «НЗХК» для выборочного контроля решеток типов ТВСА, ТВС-2 и отладки технологических процессов. Погрешность измерений ЛИМ в зависимости от контролируемого параметра составляет 10–100 мкм.

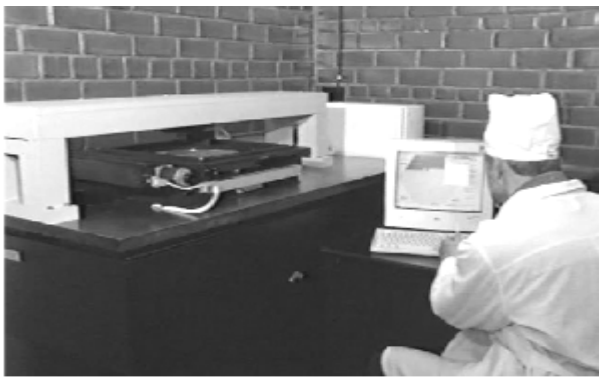


Рис. 1. Внешний вид лазерной измерительной машины для контроля дистанционирующих решеток

В последнее время номенклатура выпускаемых шестигранных ДР значительно расширилась. При этом заметно возросли требования к точности измерений. Более того, с выходом российских предприятий на мировой рынок началось производство ТВС с квадратными ДР западного типа. В связи с этим возникла потребность в создании новой универсальной ЛИМ. Такая ЛИМ по заказу корпорации «ТВЭЛ» была создана для ОАО «НЗХК» [1]. В настоящее время идет ее подготовка к производственным испытаниям. В новой ЛИМ для контроля ДР использован метод структурного освещения на основе осесимметричного дифракционного оптического элемента (ДОЭ). При этом освещение объекта формируется в виде колец. Освещенная поверхность ячейки проецируется на фотоприемную матрицу камеры с помощью специального объектива, имеющего большую кривизну поля и дисторсию. Он фокусирует различные сечения по глубине в плоскость фотоприемника; при этом, чем ближе сечение объекта, тем больше радиус его изображе-

ния. Для измерения всех геометрических параметров ДР используется прецизионный двухкоординатный стол в целях ее перемещения в плоскости, перпендикулярной оптической оси системы. Измерение разных типов ДР обеспечивается сменой ДОЭ с помощью револьверного механизма.

Система дефектоскопии урансодержащих таблеток «Дефект». Она предназначена для обнаружения и распознавания поверхностных дефектов топливных таблеток и их автоматической отбраковки (рис. 2).

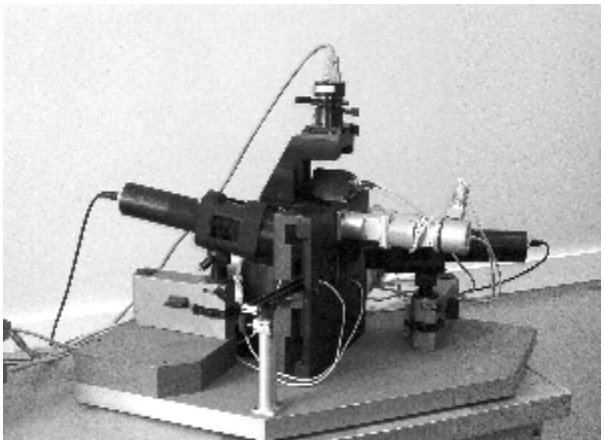


Рис. 2. Система дефектоскопии урансодержащих таблеток «Дефект»

В основе метода измерения – формирование путем специального освещения высококонтрастных изображений поверхностей таблетки, ввод их в ЭВМ с помощью матричных фотоприемников на ПЗС и обработка в реальном времени. На базе разработанного метода и программного обеспечения (совместно с ИМ СО РАН) впервые в мире была создана система дефектоскопии урансодержащих таблеток «Дефект».

Два блока с помощью ПЗС-камер регистрируют изображения торцевых поверхностей таблетки. Третий блок, использующий линейную ПЗС-камеру, регистрирует изображение боковой поверхности таблетки. Отбраковщик дефектных таблеток установлен на выходе системы. Таблетки перемещаются с помощью транспортирующего механизма с шаговым приводом в стартстопном режиме с периодом примерно 1 с. Управление системой осуществляется от контроллера. Развертка боковой поверхности производится за счет вращения таблетки и сканирования с помощью камеры на ПЗС-линейке. Полученные изображения поверхностей таблеток обрабатываются в компьютере.

Алгоритм обработки изображения торца включает следующие этапы: поиск внешних контуров белых участков, построение границы белого участка, коррекция границы плоской части торца, поиск границы отверстия, поиск дефектов, отбраковка [2]. Решение об отбраковке изделия принимается с помощью методов распознавания образов по следующему логическому решающему правилу:

$$\text{If } (s > s_1), \vee (S > S^*), \text{ then («Брак»)}, \qquad (1)$$

где s – площадь очередного дефекта; s_1 – допустимая площадь отдельного дефекта; S – сумма площадей дефектов; S^* – допустимая суммарная площадь дефектов.

Алгоритм обработки изображения боковой поверхности включает следующие этапы: поиск границ боковой поверхности, отбраковка по ширине изображения, отбраковка по проскальзыванию, выделение темных дефектов, выделение светлых дефектов, определение размеров дефектов, исключение мелких и ложных дефектов, исключение вложенных дефектов. Решение об отбраковке изделия по трещинам и другим дефектам принимается в соответствии со следующим логическим правилом:

$$\text{If } (s_{i\max} > s_o), \vee (S_p > S_{p0}), \vee (l_{j\max} > l_o), \vee (L_q > L_{q0}),$$
$$\text{then («Брак»)}, \qquad (2)$$

где s_i – площадь i-го дефекта; s_o – допустимая площадь отдельного дефекта; S_p – суммарная площадь всех p дефектов; S_{p0} – допустимая суммарная площадь всех дефектов; l_j – длина j-й трещины; l_o – допустимая длина отдельной трещины; L_q – суммарная длина всех q трещин, L_{q0} – допустимая суммарная длина всех трещин.

Система имеет следующие характеристики: высота контролируемой таблетки – от 9 до 12 мм; диаметр таблетки – от 7,5 до 7,6 мм; производительность – 1 таблетка/с при минимальном размере обнаруживаемого дефекта 100 мкм; виды обнаруживаемых дефектов – дефекты на торцевых поверхностях в соответствии с атласом дефектов; вероятность обнаружения дефектных таблеток не менее 0,95. Система успешно испытана на имитаторах и реальных таблетках в ОАО «МСЗ» в 2005 г.

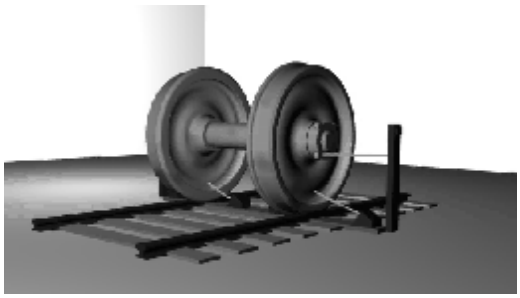
Автоматическая система контроля геометрии колесных пар грузовых вагонов на ходу поезда. В течение семи лет в КТИ НП активно ведутся работы по решению актуальных задач железнодорожной отрасли. Институту удалось в предельно сжатые сроки разработать и создать уникальную всепогодную систему «Комплекс» (рис. 3) – автоматическую систему контроля геометрии колесных пар грузовых вагонов на ходу поезда (до 60 км/ч) [3]. Система предназначена для контроля более десятка геометрических параметров колесных пар вагонов с быстродействием до ста тысяч измерений в секунду. Она выгодно отличается от своих зарубежных аналогов по ценовым параметрам и функциональным характеристикам.

В основе технического решения при создании системы «Комплекс» лежит принцип самосканирования колесной пары (рис. 3) с использованием набора активных лазерных дальномеров (триангуляционного типа), при котором каждое из колес параллельно и независимо сканируется двумя измерительными датчиками – внутренним и наружным, установленными внутри рельсового пути и снаружи соответственно.

При движении колесной пары каждый из датчиков измеряет текущее расстояние до поверхности колеса (вдоль заданного направления измерения). В итоге формируются сигналы, отражающие текущий профиль колесной пары в некотором сечении, угол и высота которого определяются направлениями измерения датчиков.

Данные сечения соответствуют сечениям колесной пары плоскостями, наклоненными к горизонтальной плоскости под некоторыми известными (заранее определенными) углами установки датчиков. Далее эти сечения в системе отсчета датчиков пересчитываются в общую (гло-

бальную) ортогональную систему отсчета, в которой ось X направлена вдоль оси пути, ось Y – поперек оси пути, ось Z – вертикально вверх. Затем, получив координаты точек на поверхности колеса в глобальной системе координат и используя дополнительные параметры взаимного расположения датчиков, полученные при калибровке системы «Комплекс», рассчитываются координаты точек в системе отсчета колеса. Таким образом восстанавливается поперечное сечение (разрез) колесной пары. Типичный профиль восстановленного поперечного сечения приведен на рис. 4. Затем по восстановленному профилю вычисляются требуемые геометрические параметры, при этом алгоритм расчета параметров повторяет методику их измерения при помощи стандартного контактного инструмента.



а

б

Рис. 3. Система «Комплекс»: *а* – принцип лазерного автосканирования геометрических параметров колесной пары системой; *б* – внешний вид измерительной части системы

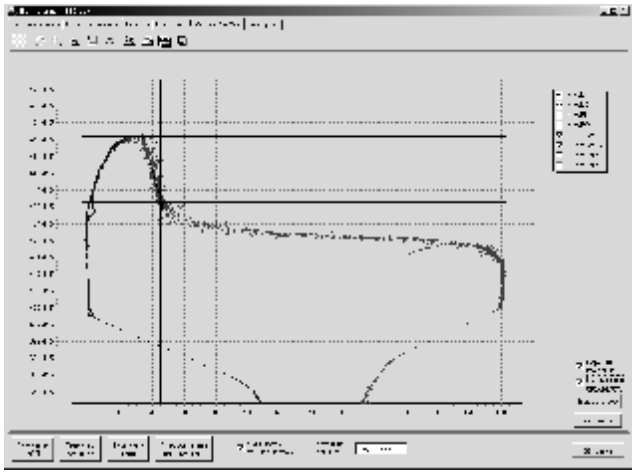


Рис. 4. Восстановленный поперечный профиль колеса

На Западно-Сибирской железной дороге первая система заработала в 2002 г., а сегодня уже 53 системы успешно эксплуатируются на одиннадцати железных дорогах России (всего поставлено 64 системы «Комплекс»). За это время с помощью системы «Комплекс» несколько десятков тысяч грузовых вагонов было отцеплено для замены «стершихся» колес, которые могут привести к сходу поезда.

Система дистанционного оптического контроля сечения провода контактных сетей железных дорог. На основе метода оптического структурного освещения (рис. 5) создана система автоматического измерения износа и обнаружения дефектов провода контактных сетей железных дорог [4]. Этот метод предусматривает освещение под некоторым углом контрольного провода узкой полоской в виде «светового ножа» (секущим веерным лучом) с шириной менее 1 мм и длиной более 1 000 мм.

Иллюстрация оптического метода регистрации геометрии провода

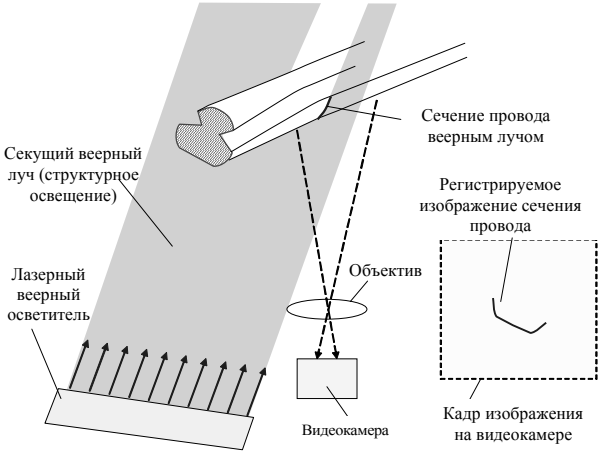


Рис. 5. Метод контроля сечения провода

С другого направления, не совпадающего с направлением освещения, след световых полос на проводе фиксируется видеокамерой с двумерным матричным фотоприемником, которая принимает изображение сечения провода веерным лучом. Затем происходит обработка изображения и вычисление необходимых геометрических параметров. Система измеряет остаточную высоту контактного провода с погрешностью ~ 0,1 мм при скорости транспортного средства 5 км/ч, площадь поперечного сечения провода со среднеквадратической погрешностью ~ 1,5 мм^2, что является достаточным для уверенного принятия решений по замене изношенных участков контактных сетей.

Конструктивно измерительная система состоит из измерительного модуля, расположенного на крыше вагона, и станции накопления и обработки данных, расположенной внутри вагона. Измерительный модуль предназначен для получения первичной видеоинформации, содержащей данные о геометрических параметрах тестируемой контактной линии. Станция накопления и обработки данных предназначена для сбора этой информации, ее обработки, вычисления интересующих геометрических параметров и архивирования.

Видеоизображения следа луча на новом и изношенном проводах, а также результат восстановления профиля проводов по видеоизображению представлены на рис. 6 и 7.

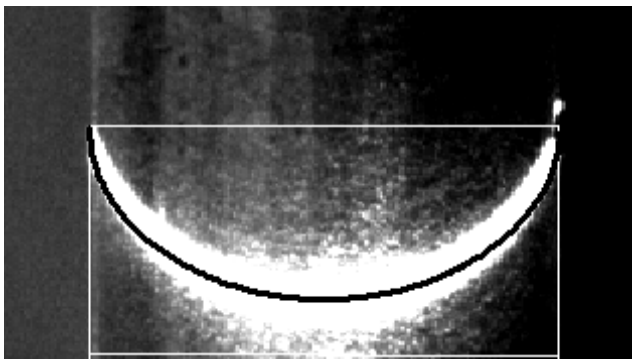


Рис. 6. Результаты восстановления поверхности контактного провода

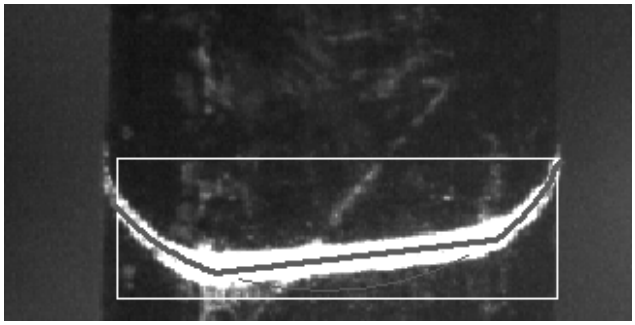


Рис. 7. Результаты восстановления поверхности изношенного контактного провода

Разработанная система также может быть применена для измерения износа проводов контактной сети городского транспорта и для технологического контроля геометрических параметров при производстве кабельной и трубной продукции.

Система круглосуточного контроля смещений и деформаций элементов механических и инженерных конструкций. Как известно, добыча нефти и газа на шельфах осуществляется с помощью буровых платформ. Платформа является чрезвычайно массивным и инертным объектом. Для защиты платформы от возможных механических нагрузок, действующих на основание, используются четыре маятниковых подшипника скольжения. Они обеспечивают защиту платформы от сейсмических колебаний, движений льда, механических нагрузок при бурении, нагрузок, возникающих в связи с тепловым расширением, и др. При прохождении пути, в среднем равного 3 км, подшипники изнашиваются. Частая замена подшипников – очень трудоемкий и дорогостоящий процесс. С другой стороны, наличие изношенного подшипника представляет большую угрозу для эксплуатации платформы и окружающей среды.

В связи с этим чрезвычайно важно отслеживать путь, пройденный подшипником. Для этой цели была создана автоматическая система измерения смещения подшипников скольжения [5]. Ее основное назначение – постоянное бесконтактное наблюдение положения подшипника и измерение пройденного подшипником пути за указанный интервал времени. Система сертифицирована как средство измерения, а также по взрывобезопасности.

Конструкция системы выполнена следующим образом (рис. 8). На вершине опоры жестко закрепляется ее пассивная часть, называемая мишенью. Оптико-электронный датчик, регистрирующий смещения мишени относительно его оптической оси, располагается над мишенью в шахте в теле платформы. Информация о перемещениях мишени, а также сервисная информация передается на рабочую панель, размещенную в одном из помещений платформы.

Электронный блок датчика и встроенное в него программное обеспечение позволяют производить измерение опоры путем анализа изображения мишени и обеспечивают взаимодействие с остальной частью измерительной системы по сети. Существенно, что датчик используется в автономном режиме, что объясняется некоторыми конструкционными сложностями по его извлечению.

В датчике используется высокопроизводительная монохромная промышленная цифровая камера фирмы PIXELINK PL-A741, работающая без фрейм-граббера по firewire (ieee1394a) интерфейсу.

Осветитель собран на импульсных светодиодах, излучающих на длине волны в 650 нм, что соответствует пику чувствительности цифровой матрицы камеры.

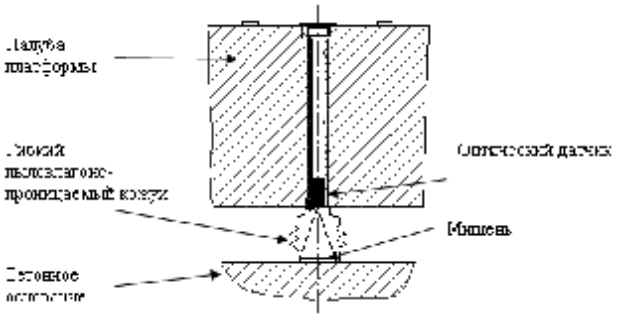


Рис. 8. Взаимное размещение оптико-электронного датчика и мишени

Мишень состоит из цельного стального листа размером 800 мм, прошедшего пескоструйную обработку поверхности, и вмонтированных отражателей в виде семи кругов из световозвращающей пленки, позиционированных с микронной точностью.

Благодаря удачно разработанной системе освещения удается получить изображение с хорошим соотношением сигнал/шум. Обрабатываемое изображение имеет разрешение 1 000×1 000 пикселей при глубине 8 бит и состоит из черного фона, на котором расположены яркие 4-связные сегменты-круги, являющиеся образами круглых пятен мишени.

Задача измерения смещений состоит в распознавании мишени на каждом кадре и нахождении координат центра большого пятна мишени по соответствующему сегменту. Измерения проводятся в системе координат, связанной с заранее заданным нулевым положением мишени.

На программном уровне решение задачи происходит в два этапа: 1) нахождение множества связных компонент на изображении в виде списка хранящих информацию о статистике компоненты структур данных; 2) фильтрация полученного списка компонент для нахождения полезных сегментов и проверки геометрии их расположения.

Конечные координаты положения мишени получаются преобразованием пиксельных центров в физические координаты центра пятна.

Во время испытаний система показала достаточно высокую стабильность обнаруживаемых пиксельных центров. Разрешение системы составляет 0,04 пиксела, что для идеальной оптики составляет 0,032 мм. С использованием библиотеки калибровок достигнута результирующая неопределенность измерения смещений ±0,6 мм во всем диапазоне перемещений ±350 мм.

Система рассчитана на круглосуточную работу в течение тридцати лет. Приведем ее технические характеристики: диапазон измерений смещения по осям X и Y ±350 мм с погрешностью ±0,6 мм; скорость измерений более 10 измерений/с; возможный диапазон скоростей перемещений без ухудшения точности до 4 м/с; рабочая температура для стойки управления от 0 до +40 °С, рабочая температура для оптоэлектронного блока и мишени от –39 до +40 °С.

Система прошла тестовые испытания и принята заказчиком в эксплуатацию (рис. 9). Без значительных доработок данная система может также использоваться для круглосуточного измерения смещений и деформаций различных элементов механических и инженерных конструкций и выдачи оповещений об опасности.

Рис. 9. Внешний вид системы измерения: оптоэлектронный блок, мишень и стойка управления

Программируемый цеховой комплекс контроля в реальном времени формы ответственных крупногабаритных 3D-изделий на основе распределенных оптоэлектронных датчиков. Впервые в стране разработан конкурентоспособный программируемый цеховой комплекс контроля в реальном времени формы ответственных крупногабаритных 3D-изделий с погрешностью измерения менее 50 мкм.

В состав комплекса (рис. 10, 11) входят система питания, сбора, обработки и представления информации от оптических триангуляционных датчиков, система распределенных оптоэлектронных датчиков расстояния (до 1 688 единиц), протяженная кабельная сеть подключения и сбора информации со всей совокупности датчиков (до 25 м).

Отличительными особенностями комплекса являются следующие:

– большое количество одновременно и независимо контролируемых точек поверхности изделия (до 1 688);

– внешне программируемые, высокотехнологичные и высоконадежные оптоэлектронные бесконтактные датчики расстояния с низкой себестоимостью для заданных метрологических параметров с возможностью внешнего перепрограммирования датчика и его калибровочных данных в системе, без необходимости его физического отключения от измерительного комплекса;

– высокая скорость контроля – до 10 тыс. отсчетов в секунду, 10 полных обмеров всем количеством датчиков в секунду;

– высокая помехоустойчивость оптоэлектронных датчиков к внешним засветкам и электромагнитным помехам;

– высокая помехоустойчивость пространственно распределенной системы измерения комплекса к электромагнитным наводкам в длинных кабельных линиях;

– удобный и гибкий графический интерфейс пользователя, разработанный под конкретную пользовательскую задачу.

Рис. 10. Измерительные датчики

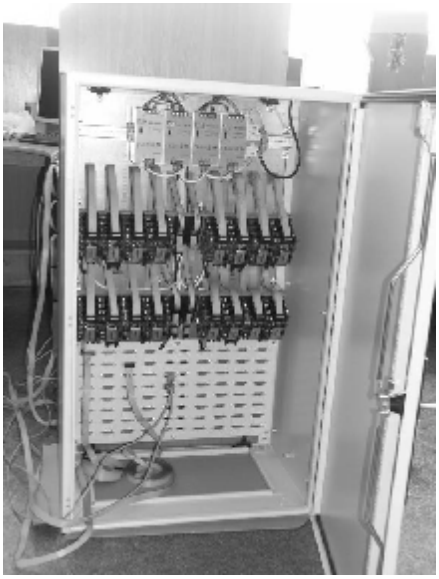


Рис. 11. Стойка питания и связи с датчиками

Оптические бесконтактные измерительные системы и лазерные технологии (с микронным разрешением и быстродействием от 500 до 10 000 измерений/с), разработанные в КТИ НП СО РАН, успешно применяются в течение многих лет как штатная Hi-Tech продукция для решения актуальных проблем безопасности в ядерной энергетике, на железнодорожном транспорте, в нефтедобывающей промышленности и других отраслях. Их применение позволяет повысить качество и конкурентоспособность изделий. Научно-технический, конструкторский и производственный потенциал КТИ НП, положительный опыт эксплуатации разработанных систем на различных предприятиях создают реальные предпосылки для более тесного сотрудничества КТИ НП с традиционными отраслями-заказчиками, а также с космической отраслью.

Библиографические ссылки

1. Трехмерный бесконтактный контроль геометрических параметров дистанционирующих решеток ядерных реакторов / О. И. Битюцкий [и др.] // Автометрия. Т. 39. 2003. № 5. С. 4–18.

2. Оптико-электронная система автоматического контроля внешнего вида топливных таблеток / Л. В. Финогенов [и др.] // Дефектоскопия. 2007. № 10. С. 68–79.

3. Автоматический контроль колесных пар на ходу поезда / А. Н. Байбаков [и др.] // Автометрия. Т. 40. 2004. № 5. С. 94–103.

4. Система дистанционного оптического контроля сечения провода контактных сетей железных дорог / В. С. Базин [и др.] // Приборы. 2006. № 12. С. 40–44.

5. Оптико-электронная система измерения смещений и деформаций элементов механических и инженерных конструкций для нефтегазовых платформ / В. С. Базин [и др.] // Приборы. 2006. № 12. С. 15–19.

Yu. V. Chugui

OPTICAL MEASURING SYSTEMS AND LASER TECHNOLOGIES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Novel research results of the Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS (TDI SIE SB RAS) on development, production and delivery of up-to-date optical measuring and laser technologies and systems for solving the actual tasks, including safety problems for atomic, railway, oil and other fields are presented in the article. Technical characteristics of some developed systems and devices are given as well.

Keywords: optical measuring technologies, laser technologies, safety, nuclear reactor, spacer grid, structured illumination method, triangulation method.

© Чугуй Ю. В., 2010

УДК 621.798.1-034

А. Ш. Герюков, В. В. Богданов, С. В. Назаров

ИССЛЕДОВАНИЯ ГИБРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕСКОНТАКТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Приведены результаты экспериментального исследования по бесконтактно-акустическому контролю изделий. Предложен прогрессивный способ возбуждения ультразвуковых колебаний в материалах. Описаны конструктивные особенности электромагнитно-акустического преобразователя для радиационно-акустического контроля.

Ключевые слова: бесконтактная генерация, электронный пучок, ультразвуковые колебания, регистрация сигналов.

Обеспечение высокого и стабильного качества изделий специального машиностроения, в том числе аэрокосмической техники, является в настоящее время одной из основных технологических проблем, на решение которой направлены усилия многих научно-исследовательских и конструкторско-технологических организаций.

Одним из главных факторов, влияющих на качество изделий, являются дефекты внутреннего строения. Большая часть возникающих отказов при испытаниях и эксплуатации изделий связана именно с проявлением ранее не обнаруженных дефектов изготовления. Поэтому неразрушающий контроль (НК) играет важную роль как в процессе производства, так и в процессе технологической отработки изделий. Форма конструкций, наличие большого числа недоступных и труднодоступных мест для традиционных средств НК, при требовании максимальной чувствительности и высокой разрешающей способности, а также особые условия производства – все это предъявляет жесткие требования к используемым методам и средствам НК и зачастую ограничивает при-

менение многих традиционных способов контроля. В связи с этим крайне актуально создание принципиально новых методов и средств НК.

Одним из наиболее распространенных в промышленности методов контроля является дефектоскопия с помощью акустических волн. Необходимость создания акустического контакта в подавляющем большинстве ультразвуковых (УЗ) приборов делает практически невозможным проведение НК в условиях вакуума или контролируемой среды, при значительных уровнях радиации и высоких температурах, что характерно, в первую очередь, для лучевых технологий.

Все это обусловило и стимулирует интенсивное развитие исследований новых бесконтактных способов акустического контроля, основанных на использовании оптоакустического и радиационно-акустического (РА) метода генерации УЗ-колебаний в материалах.

Повышение достоверности неразрушающего контроля связано непосредственно с решением проблемы стабилизации акустического контакта. Это, в свою очередь, обусловило развитие бесконтактных методов ультразвукового контроля. В частности, использование для возбуждения УЗ-колебаний импульсных малогабаритных ускорителей электронов обеспечивает формирование коротких акустических сигналов наносекундной длительности с крутыми фронтами, что чрезвычайно важно для повышения точности измерений. Кроме того, радиационный метод генерации УЗ-колебаний обеспечивает дистанционное возбуждение стабильных акустических импульсов с параметрами, слабо зависящими от качества обработки поверхности контролируемых изделий, что объясняется ярко выраженным подповерхностным характером формирования ультразвука.

Для проведения экспериментальных исследований по бесконтактной регистрации акустических колебаний, генерируемых импульсными пучками электронов в токопроводящих немагнитных материалах, а также для определения дефектоскопических возможностей РА-метода контроля был спроектирован и изготовлен макет установки РА-контроля.

Основным элементом установки является малогабаритный ускоритель электронов, смонтированный на базе импульсного рентгеновского аппарата МИРА-2Д.

Ускоритель имеет следующие параметры:

– максимальная энергия электронов в спектре – 200 кэВ;

– полная энергия, переносимая пучком электронов за импульс – около 200 мДж;

– длительность токового импульса – 10 нс;

– амплитуда тока пучка – 100 А;

– диаметр выводимого в атмосферу пучка – 6 мм.

Регистрация генерируемых акустических сигналов осуществлялась электромагнитно-акустическим преобразователем (ЭМАП) с магнитной системой из одного постоянного магнита размерами 7×20×30 мм и остаточной индукцией 0,6 Тл. Плоская приемная катушка была выполнена в виде эллипса размерами 12×18 мм из провода ПЭВ-0,31. Электрические импульсы с ЭМАП через параллельный диодный ограничитель поступали на блок усиления сигнала, состоящий из предварительного малошумящего усилителя и высокочастотного усилителя УЗ-29 с коэффициентом усиления 45 Дб, полосой пропускания 20 МГц и динамическим диапазоном 1–200 мВ. Блок усиления кабельной линией, согласованной по входу и выходу, соединялся с блоком визуализации, выполненным на базе широкополосного осциллографа С8-12.

Исследования проводились на образцах из сплава АМг-6, выполненных в виде параллелепипедов с размерами 40×40×60 мм и пластин толщиной 18 мм. Размеры образцов выбирались исходя из условия устранения влияния боковых граней на результаты измерений. Объемные дефекты имитировались плоскодонными отверстиями, боковым сверлением и прямоугольными пазами различных размеров. Пучок электронов направлялся на бездефектную поверхность образца, ось пучка совмещалась с осью дефекта, поскольку в противном случае характеристики генерируемого акустического излучения будут зависеть от вида и размера искусственного дефекта. Осциллограмма зарегистрированных с помощью ЭМАП акустических сигналов, генерируемых импульсным пучком электронов в бездефектном образце, приведена на рис. 1.

Идентифицируя сигналы по времени пробега акустической волны в образце, можно выделить два типа УЗ-волн – продольные и сдвиговые.

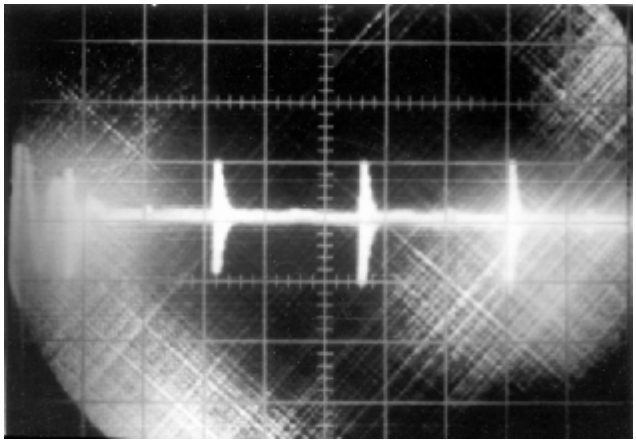


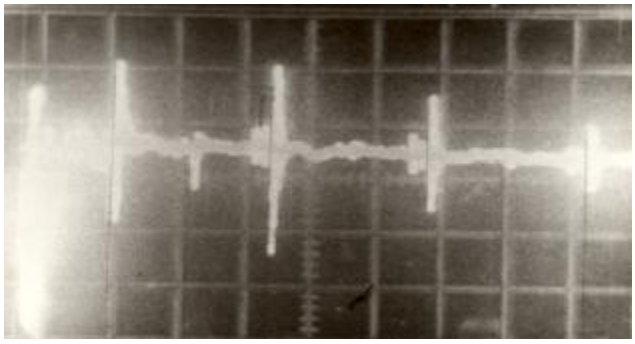
Рис. 1. Осциллограмма электрического отклика ЭМАП при регистрации акустических колебаний, генерируемых пучком электронов в образце из сплава АМг-6

Причем амплитуда продольной волны значительно больше сдвиговой, что объясняется конструкцией ЭМАП, используемого в эксперименте, и различным характером пространственного распределения акустического излучения продольных и поперечных УЗ-колебаний. Кроме того, надо отметить, что второй импульс сдвиговой волны – результат трансформации продольной волны при ее отражении от противоположной поверхности образца. Амплитуды всех трех зарегистрированных импульсов продольной волны практически равны по величине, что объясняется незначительными потерями акустической энергии в алюминиевых образцах. Следует обратить внимание на то, что сигналы от продольных и сдвиговых волн находятся в противофазе. Этот факт подтверждает ранее сделанный вывод о том, что первичной является продольная волна, а сдвиговая – это результат ее трансформации.

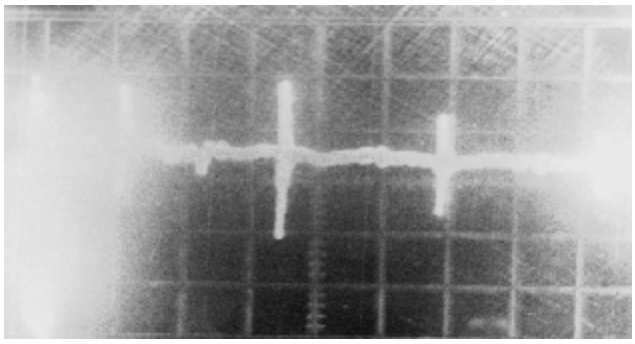
Осциллограммы, иллюстрирующие возможности бесконтактного радиационно-акустического контроля в

эхосквозном варианте, представлены на рис. 2. Призматические образцы содержали дефекты в виде прямоугольных пазов различной глубины, причем их ширина оставалась неизменной – 3 мм. Из сопоставления характера зарегистрированных УЗ-сигналов с осциллограммой отклика ЭМАП при контроле бездефектного образца видно, что наличие дефекта в изделии приводит к возникновению дополнительных промежуточных акустических сигналов, причем их положение на временной оси зависит от глубины залегания дефекта. Наличие двойного сигнала от дефекта, по всей видимости, объясняется характером отражения акустической волны от паза с плоским дном [1; 2].

Осциллограмма отклика ЭМАП при контроле образца в виде пластины с дефектом диаметром 3 мм и глубиной 10 мм приведена на рис. 3. Видно, что серия первых акустических сигналов теряется в шумах. Однако второй эхосквозной импульс и сигнал от дефекта четко видны, третий переотраженный импульс также дает стабильный сигнал, характеризующий дефект.



а



б

Рис. 2. Осциллограммы, полученные при исследовании образцов с искусственными дефектами в виде прямоугольного паза: *а* – глубиной 5 мм; *б* – глубиной 15 мм

Анализ технических характеристик используемых в настоящее время бесконтактных приемников УЗ-колебаний с точки зрения требований, предъявляемых к детекторам такого рода, обусловленных как особенностями радиационного источника акустического излучения, так и характером поставленной задачи, показал, что наиболее оптимальным типом бесконтактных УЗ-детекторов являются ЭМАП. Подобное дополнение радиационно-акустического метода обеспечивает не только реализацию бесконтактной методики УЗ-контроля токопроводящих немагнитных материалов, но и позволяет существенно расширить функциональные возможности самих ЭМАП.

С целью создания простых и надежных средств бесконтактной регистрации акустических сигналов были проведены экспериментальные исследования по оптимизации конструкции ЭМАП, работающих на продольных и сдвиговых акустических волнах, а также позволяющих регистрировать оба типа волн. Магнитные системы ЭМАП всех типов выполнялись из редкоземельных материалов (РЗМ) на основе интерметаллических соединений кобальта, обладающих высокой коэрцитивной силой и магнитной энергией ($H_{св}$ = 0,51–0,7 мА/м; W = 120–200 кДж/м^3) [3], что позволило осуществить предельную миниатюризацию преобразователей. Поскольку интерметаллические соединения редкоземельных металлов входят в группу закритичных магнитных материалов, то они обладают весьма привлекательными свойствами. Это независимость магнитного момента от формы магнита и способность полностью восстанавливать магнитный поток в процессе магнитного возврата даже в том случае, когда напряженность стороннего размагничивающего поля соизмерима либо превышает коэрцитивную силу. Последнее свойство особенно важно при работе ЭМАП в условиях мощных электромагнитных полей, источником которых являются импульсные ускорители электронов. Кроме того, магниты из РЗМ отличаются высокой термостабильностью (температурный коэффициент индукции для сплавов самарий–кобальт – 0,043 %/°С, самарий–празеодим–кобальт – 0,056 %/°С, самарий–гадолиний–кобальт – 0,0015 %/°С), что немаловажно при реализации контроля непосредственно в технологическом процессе, когда характеристики ЭМАП должны быть неизменными в широком диапазоне температур.

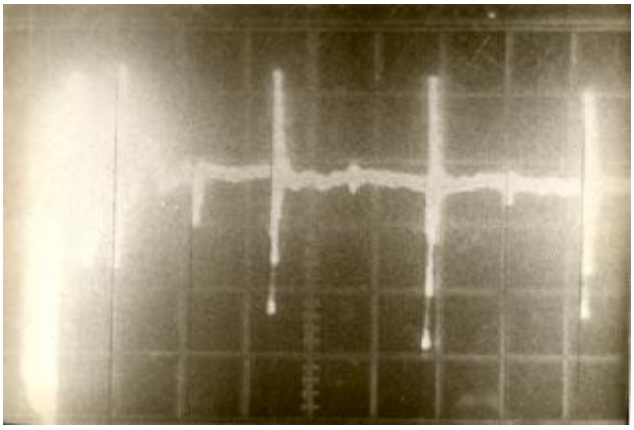


Рис. 3. Осциллограмма, полученная при исследовании образца из сплава АМг-6 в виде пластины с плоскодонным отверстием t = 18 мм

Разработанные ЭМАП на основе РЗ-магнитов отличаются простотой конструкций и надежностью.

Для реализации процесса контроля в условиях одностороннего доступа к изделию разработаны детекторы, являющиеся составной частью цилиндрического лучепровода пучка электронов. При этом ЭМАП выполнен в виде кольца, охватывающего коллиматор. В одном варианте в кожухе из ферромагнитного материла установлены два магнита, выполненные в виде концентрических колец, разделенных диэлектрической прокладкой. Под полюсами магнитов размещены концентрические катушки, изменяя способ включения которых можно фор-

мировать оптимальную диаграмму направленности приема.

Во втором варианте (рис. 4) детектор представляет собой систему, обеспечивающую расположение в одной плоскости измерительных обмоток ЭМАП и торцевой поверхности лучепровода *2* ускорителя электронов, независимо от изменений геометрических размеров используемых постоянных магнитов *5*. Это обеспечивается установкой магнитных систем на стальное основание *1*, имеющее возможность соосного вращения относительно корпуса *7* и коллиматора *3* посредством резьбового соединения. Корпус закреплен, в свою очередь, на ускорителе электронов. Конструкция детектора предусматривает установку и подключение диодного ограничителя и предварительного усилителя на плате *6*, использование нескольких преобразователей с различной геометрией магнитов и различным включением катушек относительно друг друга. Стальное кольцо *4* экранирует магнитную систему ЭМАП, выполненную из призматических магнитов.

На практике основное значение при определении границ чувстви-тельности ЭМАП имеет отношение сигнал/помеха, и эффективность того или иного способа повышения чувствительности детектора следует оценивать прежде всего по этому параметру [4].

Предложен способ контроля с использованием ЭМАП, позволяющий существенно снизить влияние зазора между преобразователем и изделием на качество контроля [5]:

$$K_c = \frac{A_0}{A_g}. \quad (1)$$

Этот способ реализуется следующим образом. Предварительно ЭМАП размещают на соседних участках образца с дефектом предельно допустимых размеров. При этом зазор h между поверхностями образца и ЭМАП устанавливают минимальным. Далее регистрируют эхосигналы каждого из преобразователей и определяют их разность V_{g0}. Затем детекторы размещают с минимальным зазором h на поверхности образца без дефектов, принимают эхосигналы преобразователей и определяют их разность V_0. Затем ЭМАП размещают на поверхности контролируемого изделия с дефектом, регистрируют эхосигналы V_1 и V_1 соответствующих ЭМАП и квалифицируют выявленный дефект по величине ΔV:

$$\Delta V = (1 - \frac{V_{g0}}{V_0})V_1 - V_2. \quad (2)$$

При $\Delta V > 0$ дефект признается допустимым, а при $\Delta V \leq 0$ – недопустимым. При этом изменение зазора h, например за счет загрязнения поверхности контролируемого изделия, мало влияет на величину ΔV.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что возможна разработка метода бесконтактного акустического контроля и аппаратурных средств его реализации на основе генерации УЗ-колебаний в металлах импульсными пучками электронов наносекундной длительности.

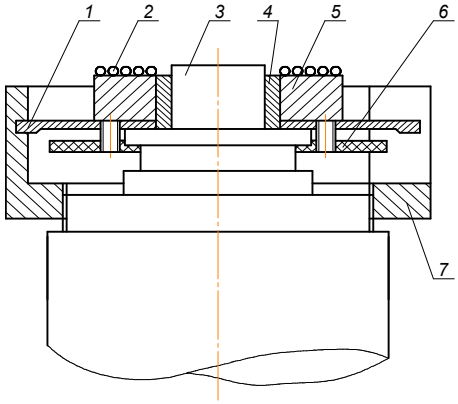


Рис. 4. Конструкция детектора акустических колебаний на основе ЭМАП для реализации бесконтактного УЗ-контроля при одностороннем доступе к изделию: *1* – стальное основание; *2* – катушки индуктивности; *3* – коллиматор; *4* – экранирующее стальное кольцо; *5* – магнитная система; *6* – плата для установки диодного ограничителя и предварительного усилителя; *7* – корпус детектора

Библиографические ссылки

1. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М. : Машиностроение, 1981.

2. Алешин Н. П., Белый В. Е., Вопилкин А. Х. Методы акустического контроля металлов. М. : Машиностроение,1989.

3. Королев М. В., Шевелдыкин В. Г. Малогабаритный высокочувствительный ЭМА-преобразователь // Неразрушающие физические методы и средства контроля : тез. докл. X Всесоюз. науч.-техн. конф. Львов, 1984.

4. Жуков В. К., Симанчук В. И., Суркова Н. В. Исследование ЭМА-преобразователей сдвиговых волн на основе магнитов из спла-вов редкоземельных металлов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. Киев, 1992. № 2. С. 58–63.

5. А. с. 16321177. Электромагнитно-акустический способ контроля / В. К. Жуков, В. И. Симанчук. № 29/04 ; заявл. 23.11.88 ; опубл. 30.03.90, Бюл № 11.

A. Sh. Gerukov, V. V. Bogdanov, S. V. Nazarov

RESEARCHES OF HYBRID TECHNOLOGY OF THE NONCONTACTING ACOUSTIC CONTROL

The work suggests results of an experimental research under the noncontacting-acoustic control of products. The progressive way of excitation of ultrasonic fluctuations in materials is offered. Design features of the electromagnetic-acoustic converter for the radiation-acoustic control are described.

Keywords: contactless generation, an electronic bunch, ultrasonic fluctuations, registration of signals.

© Герюков А. Ш., Богданов В. В., Назаров С. В., 2010

УДК 621.787

Л. И. Оборина, Б. Н. Исмаылов, И. В. Стерехов, И. В. Трифанов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ КВЧ-ДИАПАЗОНА[1]

Представлены конструктивно-технологические решения электролитического формообразования многоканальных волноводов КВЧ-диапазона.

Ключевые слова: многоканальный волновод, модель, электролитическое формообразование, КВЧ-диапазон.

При изготовлении антенно-фидерных устройств СВЧ, КВЧ-диапазонов систем спутниковой связи широко применяются многоканальные волноводы типа «корпус», «разветвитель», «мост кольцевой», «делители мощности» и др., имеющие ступенчатые геометрические параметры канала переменного сечения или пересекающиеся каналы сечением 3,6×1,8 мм.

Изготовление таких волноводов может вызывать определенные технологические трудности из-за сложности конфигурации каналов, высокой точности размеров (0,015 мм), низкой шероховатости поверхности ($R_a \leq 0{,}2$ мкм). Наиболее перспективным является метод послойного электролитического формообразования с применением выплавляемых диэлектрических моделей [1; 2].

Диэлектрические смеси, применяемые для изготовления моделей, должны обладать низким температурным коэффициентом линейного расширения, малой линейной усадкой (не более 0,6–0,7 %). Температура плавления должна быть в пределах 60–100 °С, температура начала размягчения не ниже 32–35 °С [3].

Состав диэлектрической модельной смеси должен иметь минимальное число компонентов, желательно недорогих и недефицитных, обладать хорошей жидкотекучестью в расплавленном состоянии для облегчения заливки в пресс-форму при давлении 6–10 МПа. Состав диэлектрической модельной смеси должен точно воспроизводить конфигурацию рабочей полости пресс-формы и ее поверхности, полученных на основе математического моделирования волноводов, отличаться низкой адгезией к поверхности пресс-формы, что позволит удалять модели из пресс-форм после литья.

Продолжительность процесса затвердевания должна быть минимальной после заливки в пресс-форму и составлять 20–30 с.

Модельный состав диэлектрической смеси должен хорошо сращиваться при сборке элементов модели при изготовлении волноводов сложной конфигурации, иметь механически однородную структуру, быть пригодным для многократного повторного использования [2]. Точность размеров и шероховатость поверхности выплавляемых диэлектрических моделей определяется, в основном, точностью и качеством формообразующей поверхности пресс-форм. Она должна иметь шероховатость R_a 0,1–0,16 мкм, точность размеров формообразующей полости 0,005–0,015 мм. Пресс-форма должна быть спроектирована и изготовлена с учетом усадки литейной массы. Конструкция должна обеспечивать свободную сборку пресс-формы, удаление из нее воздуха при заливке модельной массы, а также легкое извлечение затвердевшей модели. Пресс-форма должна иметь минимальный вес, быть долговечной и удобной в работе, например, пресс-форма для изготовления модели волновода «корпус» состоит из разъемной матрицы, верхней крышки, корпуса, нижней опорной плиты, нижней крышки, быстроразборного крепления (рис. 1).

В корпусе пресс-формы необходимо выполнить отверстие $d_{отв}$ = 1 мм со сферическим гнездом для заливки диэлектрической модельной массы. Радиус входной кромки должен быть 0,25 $d_{отв}$, что обеспечивает получение струи максимального сечения при заливке модельной массы. Пресс-форма может быть изготовлена из стали 40×13 с твердостью рабочей поверхности HRc 45–50, точностью 0,015 мм, шероховатостью R_a 0,12 мкм.

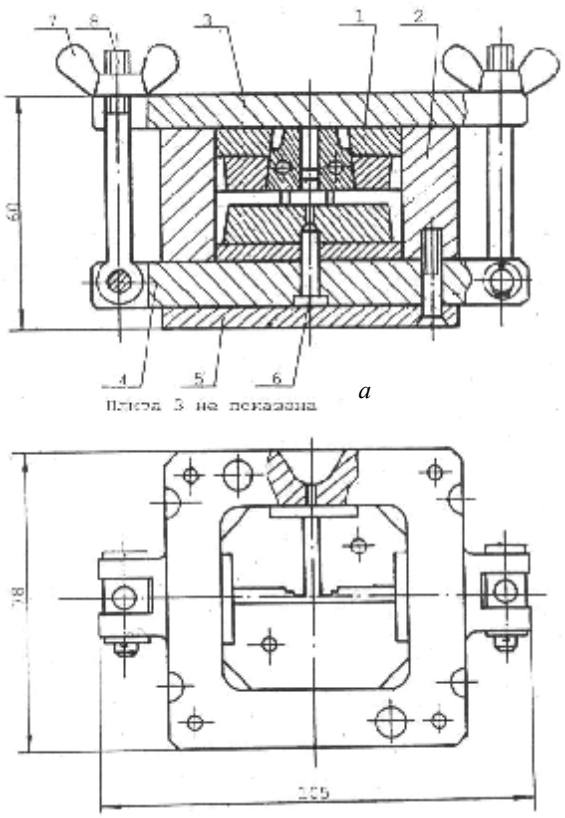


Рис. 1. Пресс-форма для литья модели волновода «корпус»: *1* – матрица; *2* – корпус пресс-формы; *3* – плита; *4* – основание корпуса; *5* – крышка; *6* – штифт; *7* – гайка; *8* – винт; *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху

[1] Работа выполнена по гранту РНП 3172/11-09.

Для изготовления моделей волноводов со стабильными геометрическими характеристиками и физико-химическими параметрами необходимо было выбрать состав диэлектрической смеси, режимы прессования, обеспечивающие заданные требования. В связи с этим были проведены исследования по определению зависимости шероховатости R поверхности моделей от температуры нагрева модельной смеси и давления во время заливки, а также от исходной температуры пресс-формы:

$$R_a = f(T,\ P,\ t_n), \qquad (1)$$

где T – температура заливаемой смеси; P – давление заливки; t_n – температура поверхности пресс-формы.

Зависимость вязкости модельного состава от температуры показана на рис. 2. Модельный состав № 1 отличается более высокой вязкостью, чем модельный состав № 2, однако характер распределения вязкости от температуры у обоих составов одинаков и описывается выражениями, приведенными ниже.

На качество диэлектрических моделей оказывает вязкость модельного состава при заливке: чем меньше вязкость, тем точнее модель повторяет геометрические параметры пресс-формы. Это обеспечивает более высокое качество изготовления волновода электролитическим формообразованием.

Изменение вязкости от температуры нагрева модельного состава может быть описано следующими зависимостями:

– для модельного состава № 1:

$$\gamma_1 = 1\ 096{,}38 \cdot 0{,}98^T; \qquad (2)$$

– для модельного состава № 2:

$$\gamma_2 = 3\ 767{,}11 \cdot 0{,}95^T, \qquad (3)$$

где T – температура нагрева модельной смеси при заливке в пресс-форму.

Зависимость шероховатости поверхности диэлектрических моделей от температуры пресс-формы показана на рис. 3. Установлено, что с повышением температуры пресс-формы от 20 до 50 °С шероховатость поверхности диэлектрических моделей снижается для модельного состава № 1 с R_a 0,32 мкм до R_a 0,25 мкм, а для модельного состава № 2 с R_a 0,28 мкм до R_a 0,18 мкм.

Шероховатость изготовленных моделей определялась оптическим методом путем замера интенсивности падающих и отраженных инфракрасных лучей от поверхности исследуемого образца. При этом ограничивались определением среднего значения интенсивности инфракрасных лучей $I(x, y)$, ее дисперсии $\sigma^2 = I^2(x, y) - I(x, y)^2$ и контраста пятнистой структуры. Шероховатость контролируемой поверхности определяли по средней величине интенсивности лучей, отраженных от нее с фильтрацией электрического сигнала через RC-фильтр, который затем поступал на усилитель и регистрирующий прибор. Это позволило исключить влияние помех. Лучи подавались от генератора импульсов, предназначенного для включения светодиодов с частотой f = 500 Гц – 50 КГц, что позволило повысить разрешающую способность данного метода контроля в зависимости от изменения параметров микронеровностей контролируемой поверхности.

В результате проведенных исследований было получено выражение, описывающее R_a диэлектрической модели при P = 7 МПа в зависимости от изменения температуры заливочной модельной смеси и температуры пресс-формы:

$$R_a = (0{,}055\chi + 0{,}61)0{,}98^m, \qquad (4)$$

где $\chi = \dfrac{dT(\tau)}{d\tau}$ – изменение температуры заливочной модельной смеси; τ – время, в течение которого происходит процесс изменения температуры модельной смеси; t_n – температура пресс-формы.

На основании проведенных исследований было установлено, что модельный состав № 2 является более предпочтительным по сравнению с модельным составом № 1, так как он способен обеспечить более низкую шероховатость поверхности изготовленной модели (рис. 3).

Колебания усадки диэлектрической модели волновода определяли по формуле

$$K_y = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{l_n}, \qquad (5)$$

где $l_{\max}$ – максимальная длина модели; $l_{\min}$ – минимальная длина модели; l_n – длина рабочей полости пресс-формы, куда запрессовывается модельная масса.

Сходимость зависимостей (2)–(5) с экспериментальными данными составляла 95–97 %.

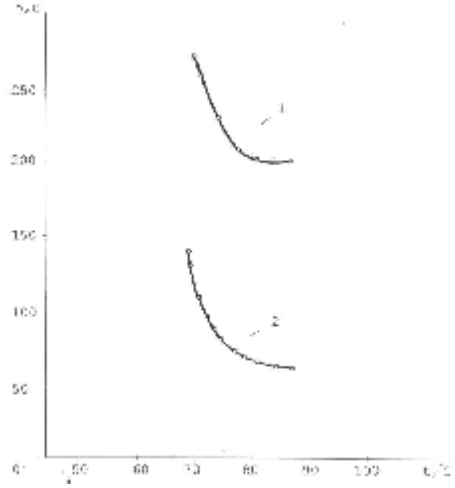


Рис. 2. Зависимость вязкости модельного состава от температуры: *1* – модельный состав № 1; *2* – модельный состав № 2

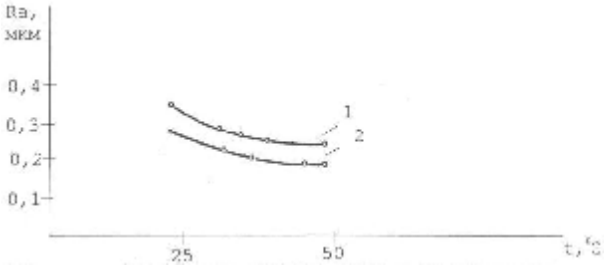


Рис. 3. Зависимость шероховатости диэлектрических моделей от температуры поверхности пресс-формы: *1* – модельный состав № 1; *2* – модельный состав № 2

Из выбранной на основе проведенных исследований циклограммы режима заливки модельной массы в пресс-форму (рис. 4) видно, что уменьшение вязкости модельного состава № 2 до 60 с позволяет уменьшить время заливки модельной смеси в пресс-форму и повысить ка-

чество диэлектрической модели волновода по шероховатости поверхности и точности.

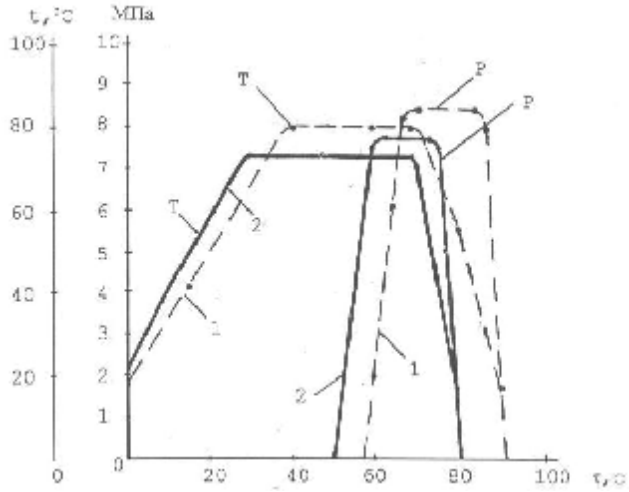


Рис. 4. Циклограмма режима заливки модельной смеси в пресс-форму: *1* – параметры для смеси № 1; *2* – параметры для смеси № 2

На рис. 5 и 6 представлен чертеж и внешний вид опытного образца волновода «корпус», изготовленного методом послойного электролитического формообразования с применением выплавляемых диэлектрических моделей. Волновод «корпус» имеет четыре канала сечением 3,6×1,8 мм и регулировочный винт *3* (рис. 5).

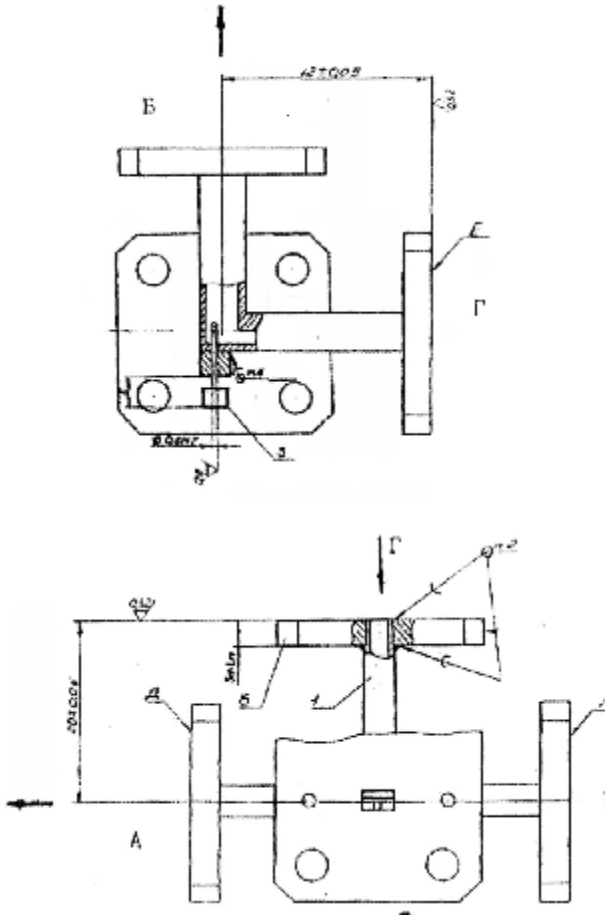


Рис. 5. Волновод «корпус» с пересекающимися каналами: *1* – канал; *2* – фланец; *3* – рабочий винт

В результате выполненных замеров на десяти образцах моделей установлено, что усадка для модельного состава № 2 находилась в пределах 0,62–0,7 %, что согласуется и исходными значениями для данной модельной массы и обеспечивает более высокую точность волновода «корпус».

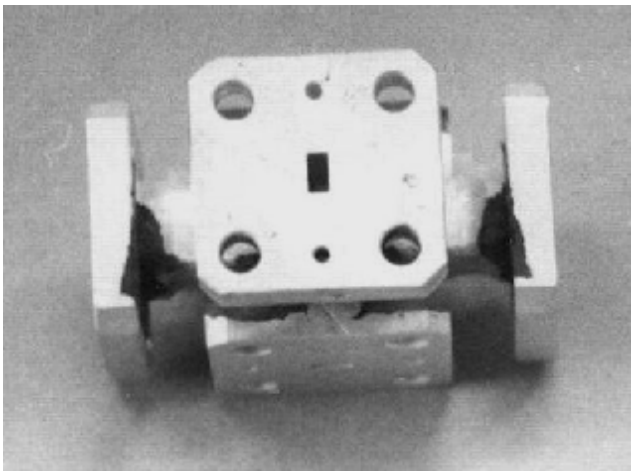


Рис. 6. Опытный образец волновода «корпус»

Изготовленные диэлектрические модели были использованы для исследования технологического процесса производства многоканальных волноводов методом электролитического формообразования. Было установлено, что технология электролитического формообразования позволяет изготавливать волноводы практически любой конфигурации, в том числе с заранее интегрированными элементами, например, винтом *3* (рис. 5).

После изготовления модели волновода в процессе электролитического формообразования многоканальных волноводов необходимо выполнить несколько последовательных операций: провести химическую подготовку поверхности модели перед металлизацией, осуществить первичную металлизацию в виде химического осаждения токопроводящего покрытия требуемого химического состава и структуры, формирующих токопроводящий скин-слой канала волновода. Затем необходимо провести вторичную металлизацию электрохимическим способом для формирования переходного слоя требуемой величины, обеспечивающего механическую жесткость конструкции.

Качество металлических покрытий в значительной степени зависит от подготовки поверхности перед металлизацией, т. е. от таких операций, как обезжиривание, травление, сенсибилизация и активирование. Поверхность модели волновода «корпус» подвергалась обезжириванию под металлизацию. С целью получения удовлетворительной смачиваемости поверхностей моделей были опробованы различные способы обезжиривания. Выбор растворов для обезжиривания зависит от свойств материала моделей. Они не должны взаимодействовать с материалом модели.

Положительные результаты были получены при обезжиривании 10%-ной суспензией венской извести с последующим обезвоживанием этиловым спиртом. Лучшие результаты были получены при непрерывном процессе – отливке модели, а затем ее обезжиривании. Затем производилась сенсибилизация и активирование в течение

2–5 мин. Обе стадии способствовали образованию на поверхности модели тончайшего слоя благородного металла, который является катализатором дальнейшей реакции восстановления ионов металла. Использовались сенсибилизирующие растворы на основе двухвалентного олова, а в качестве активирующего использовались растворы хлористых солей палладия и серебра.

Химическая металлизация подразумевает образование тонкого слоя металла (0,1–0,3 мкм) химическим способом, обеспечивающим электропроводность поверхностей диэлектрических моделей, необходимую для дальнейшего электролитического наращивания металла. В результате выполненных исследований был выбран раствор для химического меднения на основе серно-кислой меди, никеля двухлористого и других химических компонентов. Время выдержки при химическом меднении составляло 10–20 мин.

С целью получения требуемых параметров электропроводящего слоя волноводов КВЧ-диапазона, химическая металлизация проводилась путем осаждения серебра на поверхности выплавляемой модели. Наиболее эффективным явился раствор на основе серебра азотно-кислого.

После химической металлизации проводилось изготовление волноводов методом электролитического формообразования в растворе серно-кислого меднения. В процессе наращивания контролировались размеры толщины стенок волноводов и качество медного осадка.

После изготовления волноводов электролитическим формообразованием их фланцы подвергались механической обработке.

По окончании гальванического наращивания производилось выплавление диэлектрической модели, промывка каналов волновода и нанесение токопроводящего серебряного покрытия толщиной 3–5 мкм.

Таким образом, были разработаны конструкторско-технологические решения по изготовлению многоканальных волноводов КВЧ-диапазона методом послойного электролитического формообразования на выполняемые диэлектрические модели, исследованы технологические возможности разработанных составов диэлектрических моделей, а также методы изготовления многоканальных волноводов с требуемыми геометрическими параметрами и радиофизическими характеристиками.

Был выбран рациональный состав материала моделей (состав № 2), технологические режимы их изготовления, разработана методика изготовления многоканальных волноводов КВЧ-диапазона.

Библиографические ссылки

1. Гадасик В. А. Оборудование для изготовления деталей методом гальванопластики и гальваноштамповки // Радиопромышленность. 1991. № 2. С. 64–65.

2. Китнер И. П. Литьевая полимерная композиция для изготовления деталей СВЧ-устройств // Радиопромышленность. 1991. № 2. С. 58–59.

3. Трифанов И. В., Евтушенко, Е. И. Технологическое обеспечение качества при изготовлении линий передачи энергии антенно-фидерных устройств ; КрасГАУ. Красноярск, 2006. С. 24.

L. I. Oborina, B. N. Ismaylov, I. V. Sterehov, I. V. Trifanov

TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF QUALITY IN MANUFACTURE OF MULTICHANNEL WAVE GUIDES OF EHF-RANGE

Structurally-technological decisions of electrolytic shaping of multichannel wave guides of EHF-range are given in the article.

Keywords: a multichannel wave guide, model, electrolytic shaping, EHF-range.

© Оборина Л. И., Исмаылов Б. Н., Стерехов И. В., Трифанов И. В., 2010

УДК 621.791.72

Д. В. Тихоненко, А. В. Мурыгин

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО НАВЕДЕНИЯ НА СТЫК ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ

Представлена математическая модель комбинированного рентгеновского датчика для электронно-лучевой сварки (ЭЛС), позволяющая связать амплитуду и форму сигнала датчика с местом положения электронного луча относительно стыка. Предложена методика автоматического слежения по стыку, позволяющая повысить точность наведения. Рассмотрена функциональная схема и алгоритм функционирования системы слежения за стыком при ЭЛС.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, слежение, рентгеновские детекторы.

Электронно-лучевая сварка получила широкое распространение в отраслях машиностроения, связанных с производством авиационной и аэрокосмической техники. ЭЛС относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии, позволяющими соединять за один проход металлы и сплавы толщиной от 0,1 до 400 мм, и обладает широкими технологическими возможностями. Значительные достижения в технологии ЭЛС достигнуты благодаря разработке принципов автоматического регулирования режимами ЭЛС и созданию систем автоматического направления луча по стыку.

Среди известных устройств можно отметить устройства автоматического слежения, разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона, Сумском производственном объединении «Электрон», НИИТМе, Воронежском политехническом институте, Сибирском государственном аэрокосмическом университете имени академика М. Ф. Решетнева, а также в зарубежных фирмах «Сиаки» (Франция), «Гамильтон Стандарт» (США), «Герецс», «Штейгервальд» (ФРГ), «Мицубиси дэнки», «Итами сэйсакусе» (Япония). В качестве датчиков стыка применяются оптические, вторично-эмиссионные и рентгеновские детекторы. Высокая помехозащищенность рентгеновского датчика стыка по сравнению с другими типами датчиков позволила использовать его как в автоматических системах слежения с предварительной записью траектории стыка, так и в автоматических системах слежения за стыком в процессе сварки. Для повышения помехозащищенности датчика автоматические устройства обнаружения стыка в процессе сварки используют коллимированный детектор рентгеновского излучения.

Следует отметить, что существующие автоматические устройства позиционирования луча по стыку не в полной мере удовлетворяют современным требованиям точности и надежности наведения луча на стык. Причиной этого являются проблемы, связанные с компенсацией различных возмущений, вызванных физическими процессами, сопровождающими ЭЛС, низкая помехозащищенность датчиков измерительных устройств. Поэтому актуальной является задача исследования и разработки новых автоматических устройств обнаружения стыка при ЭЛС, отвечающих требованиям помехоустойчивости, и создание на их основе новых средств автоматизации контроля и систем слежения за стыком.

Наиболее перспективным направлением является разработка систем наведения на стык по рентгеновскому излучению с поверхности свариваемых деталей. Возможность контролировать наведение на стык электронного луча по косвенному параметру – рентгеновскому излучению из зоны торможения электронов – основана на том, что плотность рентгеновского излучения с поверхности обрабатываемого изделия в направлении детектора, пропорциональная плотности тока электронного пучка, в процессе сканирования меняется при пересечении лучом стыка свариваемых деталей. Если при этом установить второй детектор и ограничить зону обзора рентгеновского детектора коллиматором – щелевой блендой из рентгенопоглощающего материала – то при пересечении лучом проекции коллиматора на поверхности деталей можно контролировать координаты оси пучка электронов. Совместное применение детектора с широкой зоной обзора и детектора с узкой зоной обзора в составе комбинированного датчика стыка позволяет повысить точность наведения электронного луча на стык деталей, дает возможность устранить ошибки позиционирования луча. Математическая модель комбинированного датчика стыка представлена в виде математических выражений, позволяющих связать амплитуду и форму сигнала датчика с местом положения электронного луча относительно стыка.

При взаимодействии пучка электронов с поверхностью обрабатываемого материала электроны в результате торможения теряют свою энергию. Этот процесс сопровождается возбуждением рентгеновского излучения (РИ). В работах Н. Н. Рыкалина, В. Д. Лаптенка, А. В. Мурыгина, А. Н. Бочарова было установлено, что плотность тока электронного пучка распределяется на поверхности деталей неравномерно и может быть описана нормальным законом [1; 2]. Учитывая это, интенсивность РИ на детекторе можно описать выражением

$$J = \frac{K \cdot K_1 \cdot Z \cdot I_л \cdot U^2}{\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot 2 \cdot \pi} \times$$
$$\times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_3(x, y) \cdot \varphi(x, y) \cdot \exp\left[-\frac{(x-\varepsilon_x)^2}{2 \cdot \sigma_x^2}\right] \times$$
$$\times \exp\left[-\frac{(y-\varepsilon_y)^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right] \cdot dy \cdot dx, \qquad (1)$$

где σ_x, σ_y – среднее квадратичное отклонение электронов от центра луча по осям X, Y; ε_x, ε_y – координаты математического ожидания оси пучка электронов по осям X, Y;

$K = 1{,}5 \cdot 10^{-9}\ B^{-1}$ – коэффициент пропорциональности; K_1 – коэффициент, учитывающий пространственную ориентацию детектора; $I_л$ – ток электронного луча; Z – атомный номер материала свариваемого изделия; U – ускоряющее напряжение; $\varphi(x, y)$ – функция обзора детектора; $K_3(x, y)$ – коэффициент, учитывающий неоднородность поверхности стыка деталей.

Интенсивность РИ для детектора с широкой зоной обзора [3] определяется как

$$J = W \cdot \left\{ 1 - \frac{(1-K_s)}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-0{,}5h_c}^{0{,}5h_c} \exp\left[-\frac{(x-\varepsilon)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right] \cdot dx \right\}, \quad (2)$$

где $W = K \cdot K_1 \cdot Z \cdot I_л \cdot U^2$ – полное РИ с поверхности деталей; $\sigma = \sigma_x$; $\varepsilon = \varepsilon_x$.

Интенсивность РИ для детектора с узкой зоной обзора описывается следующим выражением:

$$J_k = \frac{W \cdot h_k}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\left(\varepsilon_x \cdot \cos\beta - (\varepsilon_y - y_k)\sin\beta\right)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right) \times$$

$$\times \left\{ 1 - \frac{(1-K_s)}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{y_1}^{y_2} \exp\left[-\frac{\left(y - \varepsilon_x \cdot \sin\beta - (\varepsilon_y - y_k) \cdot \cos\beta\right)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right] \cdot dy \right\}, \quad (3)$$

где $y_1 = -\dfrac{h_c}{2 \cdot \mathrm{tg}\beta} + y_k$; $y_2 = \dfrac{h_c}{2 \cdot \mathrm{tg}\beta} + y_k$ – границы стыкового соединения.

Зависимость нормированной интенсивности РИ для детектора с широкой и узкой зоной обзора от места положения оси пучка относительно стыка показана на рис. 1, 2. На основе обработки совместных сигналов детектора с широкой зоной обзора и узкой зоной обзора можно построить статическую характеристику комбинированного датчика стыка автоматического устройства обнаружения стыка. Статическая характеристика описывает форму сигнала комбинированного датчика в зависимости от координаты положения оси луча на оси X. Для построения статистической характеристики комбинированного датчика необходимо совместить две характеристики интенсивности рентгеновского излучения на детекторах. Для совмещения характеристики графики интенсивности РИ детекторов приводим к общей оси и одному масштабу. Статистическая характеристика комбинированного измерителя получается как результат наложения двух характеристик, переходящих одна в другую в точке их пересечения. В результате получаем двухмодальное распределение, один из горбов которого при перемещении координаты траектории сканирования по оси Y перемещается к точке пересечения проекции коллиматора и стыка. При попадании в эту точку кривая принимает форму одномодального нормального распределения. Результат наложения статической характеристики детектора с широкой зоной обзора $J = f(\varepsilon_x)$ и статической характеристики детектора с коллиматором $J_k = f(\varepsilon_x)$ приведен на рис. 3–5.

Закон распределения статической характеристики комбинированного рентгеновского датчика стыка $j(x)$ как функция распределения может характеризоваться набором признаков $U_1, U_2, \ldots, U_n$. Чтобы признаки характеризовали только форму закона распределения, они должны быть безразмерными и не зависеть от смещения центра распределения. Интегральные признаки проще всего формируются как линейные функционалы от функции $j(x)$. В частности, интегральными признаками могут служить моменты распределений и энтропия [4].

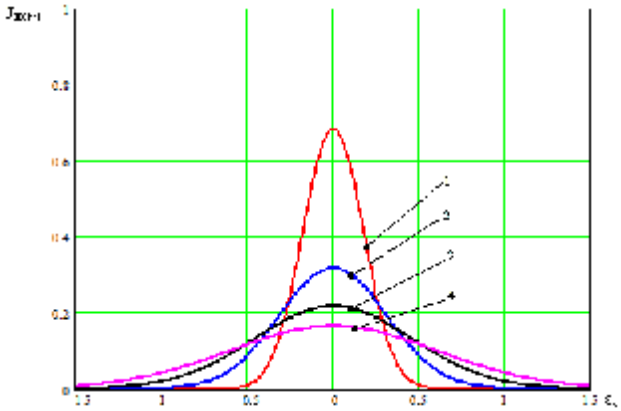


Рис. 1. Зависимость нормированной интенсивности рентгеновского излучения от местоположения оси луча относительно стыка для детектора с широкой зоной обзора при $h_c = 0{,}3$ мм: *1* – $\sigma = 0{,}5 \cdot h_c$; *2* – $\sigma = 1 \cdot h_c$; *3* – $\sigma = 1{,}5 \cdot h_c$; *4* – $\sigma = 2 \cdot h_c$

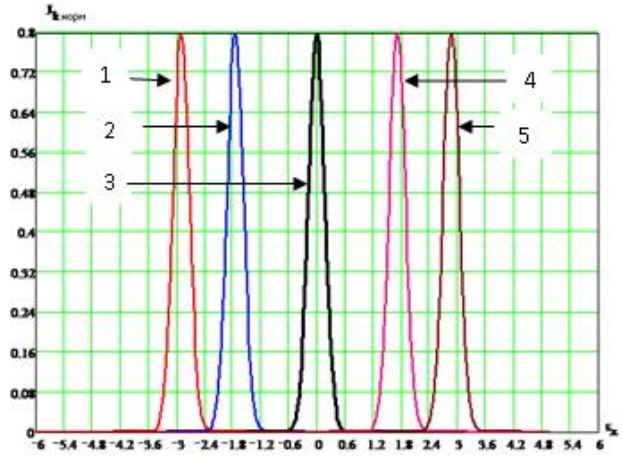


Рис. 2. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения от местоположения луча на стыке для детектора с узкой зоной обзора при $h_k = 0{,}3$ мм, $h_c = 0{,}3$ мм: $\sigma = 0{,}5 \cdot h_c$, *1* – $\varepsilon_y = 0{,}5\, y_k$; *2* – $\varepsilon_y = 0{,}7 y_k$; *3* – $\varepsilon_y = y_k$; *4* – $\varepsilon_y = 1{,}3 y_k$; *5* – $\varepsilon_y = 1{,}5 y_k$; $\beta = 30°$

Для идентификации распределений по их форме удобнее использовать контрэксцесс: $\chi = 1/\sqrt{\varepsilon}$. Это *первый информационный признак* формы распределения сигнала датчика стыка.

В качестве *второго независимого признака* формы закона распределения сигнала можно принять значение этропийного коэффициента $k_э$, который для любых законов распределения изменяется от 0 до $\sqrt{(\pi \cdot e)/2} \approx 2{,}066$ и является функционалом энтропии H: $k_э = \dfrac{1}{2 \cdot \sigma} e^H$.

В качестве *третьего информационного признака* будем использовать взаимокорреляционную функцию сигналов от детекторов с узкой и широкой зоной обзора:

$$\Psi(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} J(\varepsilon_x) \cdot J_k(\varepsilon_x - \tau) d\varepsilon_x.$$

При использовании первого и второго признака изображающая точка с координатами $k_э$ и χ будет всегда находиться в пределах прямоугольника, ограниченного значениями $k_э$ от 0 до 2,066 и значениями χ от 0 до 1 и называемого полем признаков формы сигнала.

В процессе сканирования сигнал комбинированного рентгеновского датчика стыка меняет свою форму от дискретного двухзначного до нормального одномодального распределения. При этом точка, отображающая закон распределения статической характеристики комбинированного рентгеновского датчика стыка, будет перемещаться из точки *1*, соответствующей дискретному двузначному распределению, в точку *2*, соответствующую нормальному одномодальному распределению, и обратно (рис. 6). Точка *2* соответствует пересечению оси стыка детали и оси проекции коллиматора рентгеновского детектора с узкой зоной обзора и может быть использована для определения координаты стыка.

В автоматическом устройстве обнаружения стыка в качестве детекторов используется рентгеновский датчик с широкой зоной обзора и коллимированный рентгеновский датчик с узкой зоной обзора. Реализовать сложные алгоритмы обработки сигнала от стыка возможно только с помощью средств вычислительной техники, поэтому в качестве системы управления применяется промышленная ЭВМ, что позволяет снизить число аппаратных средств, реализовать многие функции системы программным путем, повысить в целом надежность системы.

Для обнаружения ошибки наведения луча на стык используется следующий метод [5]. Детектор с узкой зоной обзора ориентируется таким образом, чтобы проекция коллимационного отверстия пересекала стык на расстоянии 10 мм от места сварки под углом $\beta = 12°$ (рис. 7). Для обнаружения стыка электронный луч выбрасывается из сварочной ванны вперед по направлению сварки и отклоняется влево на 2,5 мм в исходную точку, из которой производится сканирование по траектории, являющейся прямой линией, длиною 5 мм, и направленной перпендикулярно стыку, после чего электронный луч возвращается в точку сварки. В процессе сканирования электронный луч пересекает участки проекции коллиматора и стыка деталей. Блок регистрации сигналов детектора при этом будет измерять сигналы детекторов с узкой и широкой зоной обзора. Фаза этих сигналов ω_1 и ω_2 будет различной. Первое сканирование производится на расстоянии 5 мм. Всего делается 31 сканирование на различных расстояниях от сварочной ванны. Траектории сканирования группируются в три отдельных блока, хранящихся в постоянном запоминающем устройстве, и выбираются в зависимости от величины ошибки наведения, определенной при предыдущем сканировании. На рис. 7 показаны 3 характерных случая при определении ошибки наведения. Они различаются тем, что количество сканирований локально увеличивается в зоне предполагаемого нахождения стыка: стык в центре, $\Delta x = \pm 0{,}5$ мм (рис. 7, *а*); смещение стыка вправо, $\Delta x = 0{,}5$ мм $< \Delta x \leq 1$ мм (рис. 7, *б*); смещение стыка влево, $\Delta x = -0{,}5$ мм $< \Delta x \leq -1$ мм (рис. 7, *в*). Если предыдущее измерение показало, что ошибка находится в пределах $\pm 0{,}5$ мм (стык в центре), то зона сканирования делится на три участка (рис. 7, *а*). На первом (с 1 по 5 траектории) и третьем (с 27 по 31 траектории) участках ошибка наведения Δx будет определяться с точностью 0,1 мм. На этих участках каждое последующие сканирование производится на расстоянии 0,5 мм

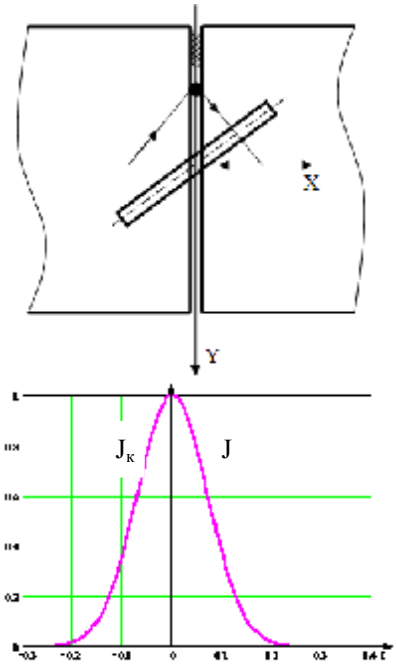


Рис. 3. Наложение характеристик детектора с широкой зоной обзора и коллимированного детектора без смещения стыка

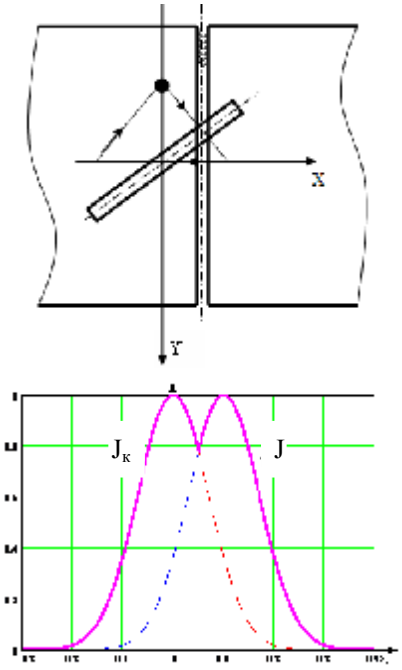


Рис. 4. Наложение характеристик детектора с широкой зоной обзора и коллимированного детектора при смещении стыка вправо

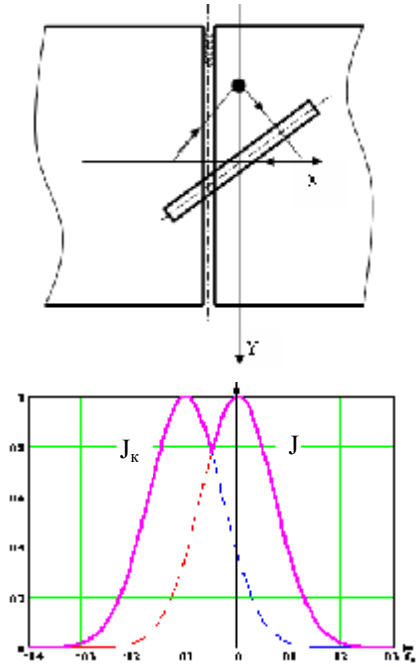


Рис. 5. Наложение характеристик детектора с широкой зоной обзора и коллимированного детектора при смещения стыка влево

от предыдущего. Второй участок (с 6 по 26 траектории) соответствует зоне наиболее вероятного нахождения точки пересечения стыка с проекцией коллиматора. На этом участке каждое последующие сканирование производится на расстоянии 0,25 мм от предыдущего. и ошибка наведения будет определяться с точностью 0,05 мм. Если координата точки сварки и координата стыка совпадают, то при сканировании траектории 16, которое производится на расстоянии 10 мм от места сварки, фазы сигналов детекторов ω_1 и ω_2 будут совпадать.

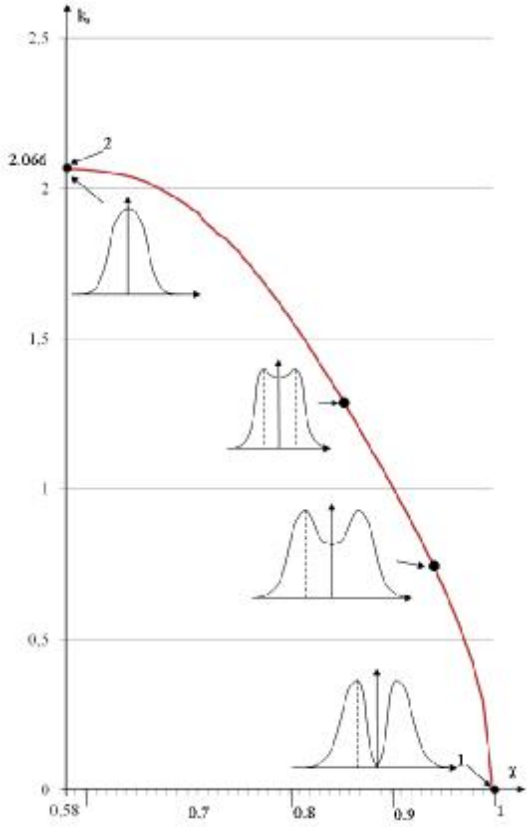


Рис. 6. Поле признаков форм сигналов комбинированного рентгеновского датчика стыка: *1* – точка, соответствующая дискретному двузначному распределению; *2* – точка, соответствующая нормальному одномодальному распределению

Если фазы сигналов ω_1 и ω_2 совпадают на траектории сканирования с другим номером (N_c), то это означает, что координата стыка не совпадает с координатой точки сварки и есть ошибка наведения Δx. Ошибка наведения определяется следующим образом:

стык в центре, $\Delta x = \pm 0{,}5$ мм:

$$\Delta x(\text{мм}) = \begin{cases} -0{,}5 + (N_c - 6)\,0{,}1, & \text{при } 1 \le N_c \le 5, \\ (N_c - 16)\,0{,}05, & \text{при } 6 \le N_c \le 26, \\ 0{,}5 + (N_c - 26)\,0{,}1, & \text{при } 27 \le N_c \le 31; \end{cases}$$

смещение стыка вправо, 0,5 мм $\le \Delta x \le$ 1 мм:

$$\Delta x(\text{мм}) = \begin{cases} (N_c - 11)\,0{,}1, & \text{при } 1 \le N_c \le 10, \\ (N_c - 11)\,0{,}05, & \text{при } 11 \le N_c \le 31; \end{cases}$$

смещение стыка влево, –0,5 мм $\le \Delta x \le$ –1 мм:

$$\Delta x(\text{мм}) = \begin{cases} (N_c - 21)\,0{,}05, & \text{при } 1 \le N_c \le 21, \\ (N_c - 21)\,0{,}1, & \text{при } 22 \le N_c \le 31. \end{cases}$$

Автоматическая система слежения за стыком состоит из двух основных блоков (рис. 8) [3]: блок выброса луча БВЛ и измерительный блок ИзБ. БВЛ осуществляет вывод луча из сварочной ванны, пересечение лучом зоны обзора рентгеновских детекторов по заданной траектории через СЧ1. Развертка луча производится цифровым генератором по 128 точкам. Координаты траекторий сканирования хранятся в постоянном запоминающем устройстве ПЗУХ и ПЗУУ. Выбор нужного блока траекторий сканирования производится через порт ЭВМ подачей нужного кода на счетчик СЧ1. Работа БВЛ синхронизируется частотой питающей сети от генератора ГСС. В блоке ИзБ сигнал рентгеновских детекторов с узкой зоной обзора (КД) и широкой зоной обзора (Д) после преобразования запоминается в оперативном запоминающем устройстве ОЗУ. После заполнения ОЗУ ЭВМ через шинный формирователь ШФ производит считывание информации и последующую ее обработку.

Коррекция положения луча относительно стыка производится через ШД с записью в регистр Р1. Регистр Р1 запускается сигналом «2» с дешифратора ДШ. Далее кодовые комбинации преобразуются в аналоговую форму в ЦАПе с последующим суммированием в усилителе УМ Х и отклоняющей системе ОС Х.

Аварийный вывод тока луча производится схемой АВЛ по команде ЭВМ в случае потери сигнала от стыка или при сбое программы.

Блок-схема алгоритма работы ЭВМ в составе системы слежения за стыком приведена на рис. 9. Начальная установка заключается в настройке ЭВМ для задания направления обмена информацией. Полученную из ОЗУ измерительного блока информацию ЭВМ хранит в специально отведенной области памяти. Перед началом каждого цикла измерений ОЗУ очищается. Далее загружается код блока траекторий сканирования. Затем ЭВМ переходит в режим ожидания синхроимпульса сети. Синхроимпульс подается на одну из линий порта ЭВМ с частотой 100 Гц. ЭВМ постоянно опрашивает эту линию и при поступлении синхроимпульса запускает блок выброса луча, организуя подачу сигнала «1» дешифратором.

Затем ЭВМ переходит в режим ожидания сигнала «Гот» от измерительного блока. Этот сигнал поступает на одну из линий порта примерно через 0,1 мс. ЭВМ постоянно опрашивает эту линию и при поступлении сигнала переходит к считыванию информации из ОЗУ измерительного блока. Если сигнал «Гот» через 0,1 мс не поступил, то это означает, что измерительный блок неисправен. С целью распознавания такой ситуации ЭВМ перед началом ожидания сигнала «Гот» на одном из своих регистров организует счетчик (С1), работающий на вычитание (блоки 7, 8, 9). В счетчик С1 загружается число, и после каждого опроса сигнала «Гот» содержимое счетчика уменьшается на 1. Если измерительный блок неисправен и сигнал «Гот» не поступает, то через 0,15 мс счетчик С1 обнулится, после чего ЭВМ организует индикацию аварийного режима и запускает схему аварийного вывода тока луча.

Если сигнал «Гот» поступает через 0,1 мс, ЭВМ переходит к считыванию информации из ОЗУ измерительного блока (блоки 13–16). С этой целью ЭВМ по одной из

линий порта посылает на счетчик СЧ2 измерительного блока синхроимпульс. После получения синхроимпульса СЧ2 выставляет на адресный вход ОЗУ измерительного блока код адреса. Данные ОЗУ измерительного блока считываются ЭВМ и перемещаются в отведенную область памяти. Всего считывается 128 чисел, после чего ЭВМ снова переходит в режим ожидания синхроимпульса сети (блок 5). После поступления синхроимпульса организуется новый цикл сканирования и считывания информации. После совершения 31 цикла ЭВМ переходит к программе обработки сигналов детекторов (блоки 18–27).

Обработка производится в следующем порядке: вначале обрабатывается сигнал детектора с узкой зоной обзора. Для каждой сохраненной реализации сигнала детектора вычисляются информационные параметры формы – контрэксцесс χ и энтропийный коэффициент $k_э$ и их среднее значение $\chi_{ср}$, $k_{э\ ср}$ по всем реализациям. После этого средние значения сравниваются с пороговыми значениями. Если $k_{э\ ср} = 1{,}9 \pm 0{,}1$, а контрэксцесс $\chi_{ср} = 0{,}6 \pm 0{,}1$, то сигнал считается достоверным.

Затем обрабатывается сигнал детектора с широкой зоной обзора: показания детектора в каждой x_i-й точке траектории сканирования усредняются по всем реализациям. Это позволяет уменьшить влияние помех. После этого усредненный сигнал нормируется, и вычисляются его информационные параметры формы – контрэксцесс χ и энтропийный коэффициент $k_э$, которые сравниваются с пороговыми значениями. Если $k_э = k_{э\ ср} \pm 5$ % и $\chi = \chi_{ср} \pm 5$ %, то сигнал считается достоверным.

Если сигнал детекторов достоверен, то производится определение смещения Δx стыка. Для этого для каждой траектории сканирования строится характеристика комбинированного рентгеновского датчика стыка путем совмещения полученных сигналов от детектора с узкой зоной обзора и усредненной в каждой x_i-й точке траектории сканирования сигнала детектора с широкой зоной обзора. Далее высчитываются информационные признаки полученной характеристики, по которым определяется координата стыка.

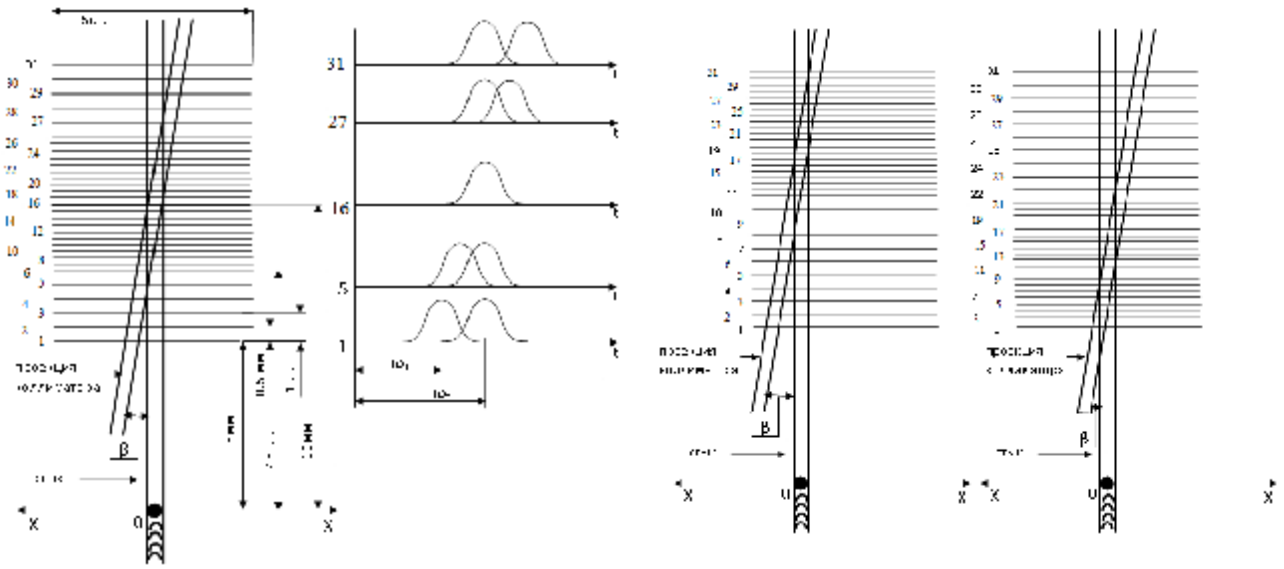
Если принятый сигнал недостоверен, то в этом случае ЭВМ принимает решение о том, что произошел сбой. Наиболее вероятной причиной сбоя системы слежения может быть наличие прихваток. С целью распознавания этой ситуации в блоке 22 анализируется количество сбоев. Если число сбоев меньше заданного числа n, то процесс слежения возобновляется. Число допустимых сбоев зависит от скорости сварки и длины прихваток.

Конструктивно автоматическое устройство обнаружения стыка выполнено в виде отдельного блока. Блок представляет собой промышленную рабочую станцию фирмы Advantech, в корпусе которой на специальной кроссплате расположены плата АЦП и ЦАП, плата ГСС, ГТИ, АРУ измерительного блока и источник питания.

Таким образом, можно отметить следующее.

1. Разработанная аналитическая модель комбинированного рентгеновского датчика стыка автоматического устройства наведения на стык, состоящая из двух детекторов рентгеновского излучения с широкой и узкой зоной обзора, позволяет определять положение стыка деталей по форме статической характеристики, получаемой наложением статических характеристик детекторов, обработанных с помощью созданных программ расчета.

2. Характеристика комбинированного датчика автоматического устройства наведения на стык имеет двухмодальную форму распределения, если на траектории сканирования проекция коллиматора и стык деталей не совпадают, и одномодальную нормальную форму распределения, если они совпадают. Для оценки формы статической характеристики можно использовать информационные параметры: контрэксцесс χ, энтропийный коэффициент $k_э$ и взаимокорреляционную функцию сигналов детекторов $\Psi(\tau)$. При изменении координаты траектории сканирования информационные параметры сигнала меняют свое значение от $\chi = 1$, $k_э = 0$, $\Psi(\tau) = 0$, что соответствует двухмодальной форме распределения, до $\chi = 0{,}58$, $k_э = 2{,}066$, $\Psi(\tau) = \max$, что соответствует нормальному одномодальному распределению, и обратно.



а *б* *в*

Рис. 7. Схема определения ошибки Δx наведения на стык: *а* – стык в центре ($\Delta x = \pm 0{,}5$ мм); *б* – смещение стыка вправо (0,5 мм < $\Delta x \le 1$ мм); *в* – смещение стыка влево (–0,5 мм < $\Delta x \le -1$ мм)

3. Разработанный метод автоматического обнаружения ошибки наведения электронного луча на стык деталей по сигналам рентгеновских детекторов с широкой и узкой зоной обзора позволяет определять ошибку наведения с точностью 0,05 мм.

4. Разработанное автоматическое устройство наведения на стык позволяет на основе полученных алгоритмов и программ обнаруживать стык при различных технологических параметрах ЭЛС, записывать и обрабатывать сигналы, получаемые с рентгеновских детекторов, оце-

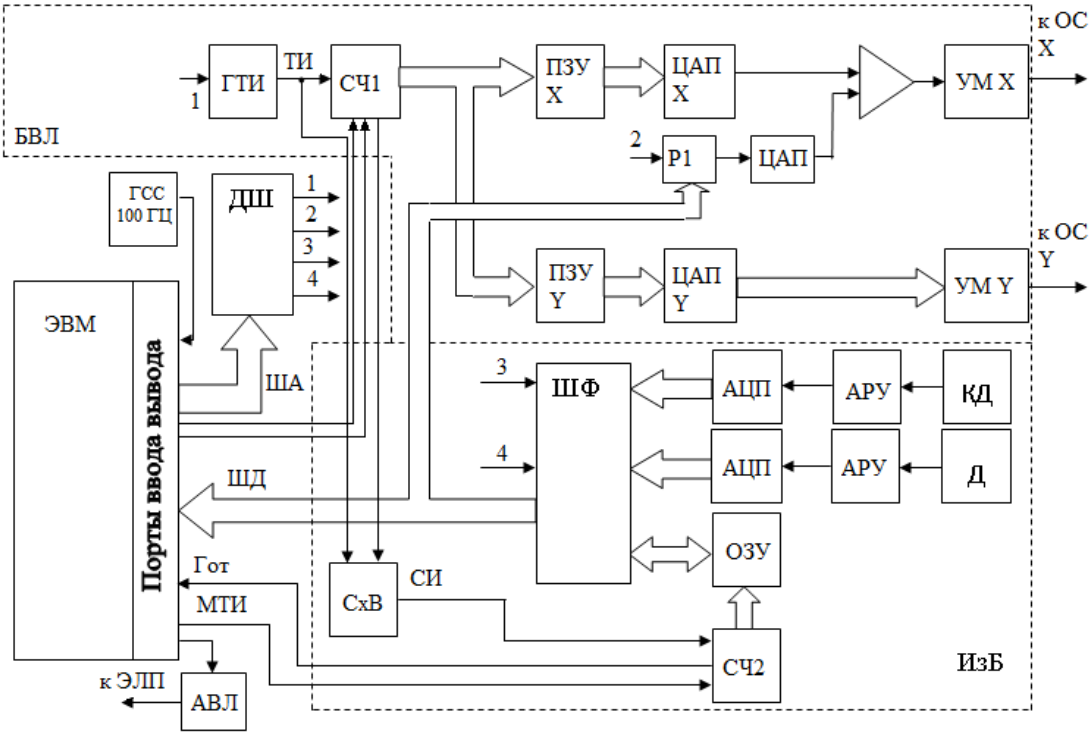


Рис. 8. Функциональная схема автоматической системы слежения за стыком

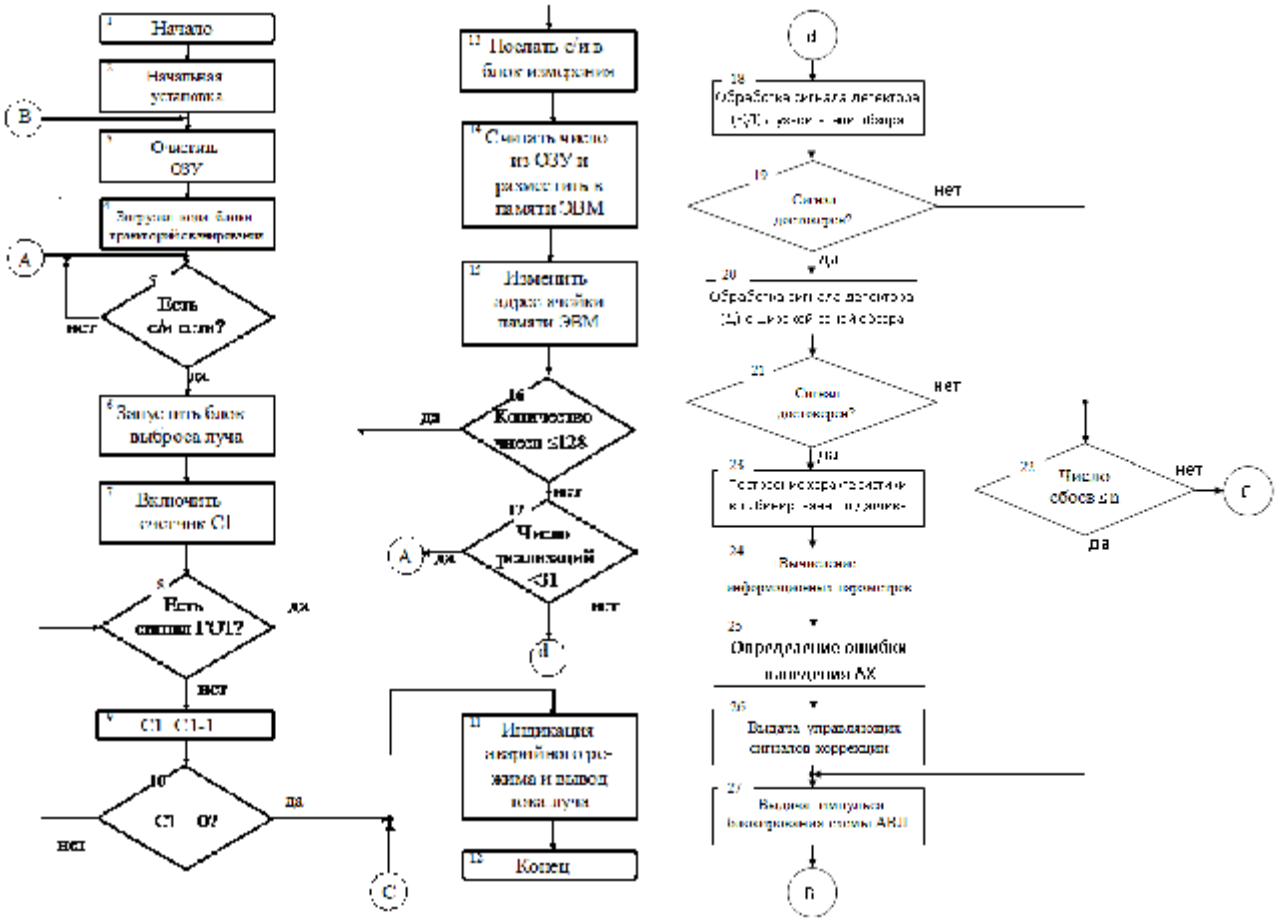


Рис. 9. Блок-схема алгоритма работы автоматической системы слежения

нивать достоверность полученных сигналов и работоспособность самой системы.

Библиографические ссылки

1. Рыкалин Н. Н., Зуев И. В., Углов А. А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. М. : Машиностроение, 1978.

2. Управление электронно-лучевой сваркой / В. Д. Лаптенок [и др.] ; САА. Красноярск, 2000.

3. Тихоненко Д. В. Автоматическая система слежения за стыком при ЭЛС с рентгеновским датчиком стыка // Вестник НИИ СУВПТ : сб. науч. тр. Красноярск, 2008. Вып. 26. С. 78–84.

4. Тихоненко Д. В., Мурыгин А. В. Анализ достоверности информации по форме сигнала датчика стыка при электронно-лучевой сварке // Вестн. СибГАУ. Вып. 3 (10). 2006. С. 61–64.

5. Тихоненко Д. В. Автоматическое определение ошибки наведения на стык деталей при ЭЛС // Вестник НИИ СУВПТ : сб. науч. тр. Красноярск, 2008. Вып. 26. С. 75–77.

D. V. Tikhonenko, A. V. Murygin

AUTOMATIC SYSTEM OF INDUCTION ON JOINT FOR ELECTRON BEAM WELDING

The article presents mathematical model of combined x-ray data transmitter for electron beam welding (EBW) which affords to correlate data transmitter amplitude, form of signal and the position of electronic ray against the joint. Method of automatic-tracking on a joint, which makes possible to promote aiming exactness, is offered, and functional diagram and algorithm of functioning of the track system behind a joint at EBW is considered in the article.

Keywords: electron beam welding (EBW), track system, x-ray detectors.

© Тихоненко Д. В., Мурыгин А. В., 2010

УДК 004.7

С. П. Саханский, С. М. Баркин

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КРЕМНИЯ

Предложена математическая модель формирования задания температуры на установке выращивания монокристаллов кремния по способу Чохральского, которая позволяет автоматизировать процесс его ввода в микропроцессорную систему управления установкой.

Ключевые слова: модель, температура, выращивание, монокристалл, кремний.

Методы вытягивания кристаллов из расплава по способу Чохральского берут начало от работ таких авторов, как R. Nacen, S. Kyrohulos и J. Czochralski. Основа этих методов состоит в том, что небольшую монокристаллическую затравку вводят неглубоко в расплав и затем ее медленно вытягивают из расплава. При вытягивании температуру расплава сначала повышают, что приводит к образованию шейки, затем температуру расплава снижают до первоначального уровня, в результате чего диаметр затравки возрастает. Этот процесс носит название подрезания затравки. Он позволяет получить гарантированную монокристаллическую затравку. После подрезания затравки для перехода в автоматический режим выращивания кристалла по программе, закладываемой в систему управления, производится вытягивание шейки затравки определенного диаметра и длины с одновременным обеспечением заданной скорости вытягивания, что позволяет стабилизировать тепловые условия перед переходом в автоматический режим работы по программе. Выращивание кристаллов кремния производится обычно в протоке инертного газа аргона, при этом расплав помещается во вращающийся тигель (с угловой скоростью вращения в пределах 2–10 об/мин), а затравке с кристаллом придается программируемое вращение (с угловой скоростью в пределах 10–90 об/мин). В процессе вытягивания форма прямого конуса кристалла, его цилиндрической части и обратного конуса, а также процесс последующего медленного отжига кристалла (снижения температуры после отрыва кристалла от расплава) программируется системой управления за счет программного изменения скорости вытягивания кристалла и температуры. Во многих системах управления поддерживается постоянный уровень расплава в тигле и имеются подсистемы измерения и управления текущим диаметром кристалла. Интенсивное перемешивание расплава в тигле за счет центробежных сил позволяет отбросить от кристалла возможные возникающие паразитные кристаллические зародыши и исключить радиальные температурные градиенты, способные вызвать неправильный (боковой) рост кристалла. Это благоприятствует поддер-

жанию однородности расплава. При выращивании совершенных кристаллов необходимо избегать тепловых и механических колебаний; при которых нарушается форма кристалла и в нем возникают дефекты. Важно также отметить тот факт, что напряжения, возникающие после вытягивания кристалла из расплава, сводятся к минимуму за счет его последующего медленного охлаждения или так называемого процесса отжига (до 24 ч для кристаллов германия диаметром 270 мм). Процесс вытягивания монокристаллов кремния из расплава по способу Чохральского требует соблюдения целого ряда дополнительных условий, обеспечивающих получение качественного материала заданной геометрии. Кроме чистоты используемого сырья и возможности загрязнения расплава посторонними примесями из тигля и других частей печи, необходимо также создать определенные физические условия, обеспечивающие минимальные дефекты кристаллической решетки в процессе роста кристалла. Изменения скорости вытягивания монокристалла, степени охлаждения и температуры расплава влияют на заданную геометрию выращиваемого кристалла и во многом определяют количество дефектов кристаллической решетки. Особенно сильно влияют колебания температуры расплава (более 0,1 °С) и скорости вытягивания кристаллов [1–3]. Поэтому для выращивания совершенных марок монокристаллов используются автоматизированные системы управления с контролем и управлением текущей площадью кристалла в процессе роста. Микропроцессорная система управления выращиванием монокристаллов кремния представлена на рис. 1. Под управлением системы управления в камере производится выращивание монокристалла диаметром d, со скоростями вытягивания $V_з$ и вращения кристалла $W_з$, при этом расплавленный металл, находящийся в тигле с внутренним диаметром D, вращается с угловой скоростью $W_т$. Для поддержания постоянного уровня расплава в тигле, кроме скорости подъема тигля вверх $V_т$, в системе формируется информация о перемещении тигля $X_{итц}$ с (дискретностью $\Delta_т$) и информация $X_{изц}$ о перемещении кристалла вверх (с дискретностью $\Delta_з$). Управление от ЭВМ скоростями вытягивания кристалла $V_з$, вращения кристалла $W_з$, вращения тигля $W_т$ осуществляется через соответствующие приводы. Управление температурой расплава осуществляется на основе формирования задания температуры $T_з$ от ЭВМ на регулятор температуры. В качестве датчика обратной связи по температуре используется радиационный пирометр с оптической системой, которая направлена на боковую поверхность графитового нагревателя. Информация о выращиваемом диаметре кристалла поступает с оптической системы на преобразователь, на основе чего в системе формируется текущее положении яркостного ореола мениска кристалла и происходит вычисление сигнала управления, который пропорционален отклонению диаметра выращиваемого кристалла от заданного по программе. Полученный сигнал управления используется для коррекции диаметра выращиваемого кристалла по каналам управления скоростью вытягивания и температурой расплава. Программное задание закона изменения температуры T в микропроцессорных системах выращивания кремния задается технологом за счет ввода в систему управления программы изменения температуры на всех участках выращивания. После выращивания первых образцов заданной марки кристалла, введенный выше программный закон изменения температуры корректируется на основе анализа предыдущих записей. При производстве кристаллов кремния удовлетворительным получается процесс корректировки программного закона изменения температуры после выращивания от четырех до пяти кристаллов заданной марки, что является трудоемким процессом.

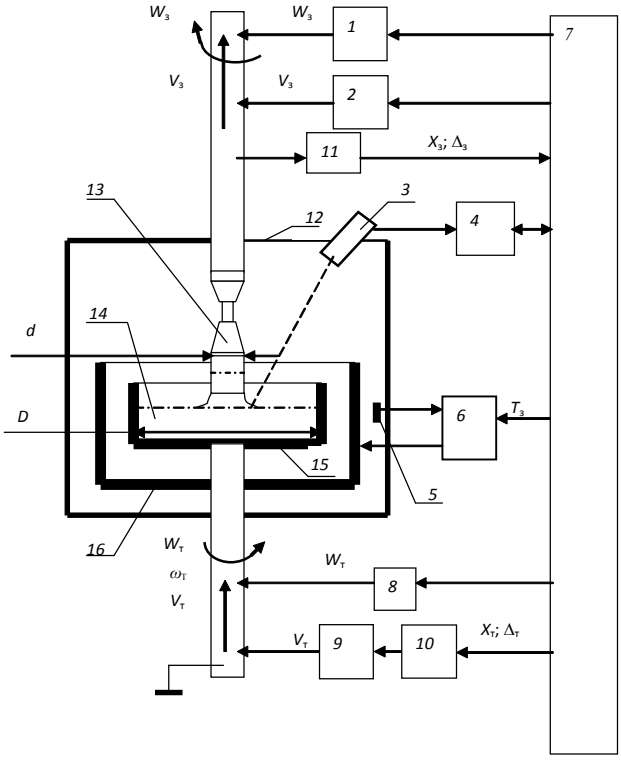


Рис. 1. Система управления выращиванием монокристаллов кремния: *1* – привод вращения затравки; *2* – привод перемещения затравки; *3* – оптическая система; *4* – преобразователь изображения мениска; *5* – датчик температуры; *6* – регулятор температуры; *7* – ЭВМ; *8* – привод вращения тигля; *9* – шаговый двигатель; *10* – блок управления шаговым двигателем; *11* – датчик перемещения затравки; *12* – камера; *13* – слиток; *14* – расплав металла; *15* – тигель; *16* – нагреватель

Приведем математические выражения для формирования программного задания температуры T, которые позволяют автоматизировать данный процесс. Модель управления температурой (рис. 2) при выращивании кремния можно представить в виде выражения

$$T(x) = F(\boldsymbol{Z}, \boldsymbol{Y}, V_{зп}(x), L(x), x),$$

где $T(x)$ – средняя температура расплава в зоне фронта кристаллизации; $V_{зп}(x)$ – программное задание скорости вытягивания кристалла; x – координата перемещения вдоль оси кристалла; $L(x)$ – линейный осевой градиент в твердом кристалле; $\boldsymbol{Z}$ – вектор задания геометрии выращиваемого кристалла; $\boldsymbol{Y}$ – вектор задания теплофизических параметров материала.

Если приравнять вес массы столбика расплава силам поверхностного натяжения, действующим по окружнос-

ти, и учесть выражение высоты столбика расплава через уравнение теплового баланса на фронте кристаллизации, то можно получить зависимость диаметра кристалла d от скорости вытягивания $V_з$ и температуры расплава T в виде следующего выражения [1]:

$$d = C_t \frac{\left[L - C_V \cdot V_з\right]}{\left[T - T_к\right]}, \qquad (1)$$

где $C_V = \rho_ж \frac{E}{\lambda_{тв}}$; $C_t = 4\frac{\sigma \cdot \lambda_{тв}}{\rho_ж \cdot \lambda_ж \cdot g}$; $V_з$ – скорость вытягивания кристалла; $T_к$ – температура кристаллизации материала; T – средняя температура расплава в зоне фронта кристаллизации; L – линейный осевой градиент в твердом кристалле; E – удельная теплота плавления материала; $\lambda_ж$ – коэффициент теплопроводности расплава; $\lambda_{тв}$ – коэффициент теплопроводности кристалла; g – ускорение свободного падения; σ – поверхностное натяжение расплава; $\rho_ж$ – удельная плотность жидкого материала; d – диаметр выращиваемого кристалла.

Для задания средней температуры расплава выражение (1) можно представить в виде

$$T(x) = T_к + C_t \frac{\left[L - C_V \cdot V_{зп}(x)\right]}{d_з(x)}, \qquad (2)$$

где $d_з(x)$ – программное задание выращиваемого диаметра кристалла; $V_{зп}(x)$ – программное задание скорости вытягивания кристалла; x – координата перемещения кристалла.

Процесс управления основными параметрами выращивания монокристалла кремния приведен на рис. 3. Используя линейную аппроксимацию параметров на узловых участках выращивания кристалла, можно получить выражения для вычисления программы управления температурой на всех участках выращивания.

Выражения по заданию диаметра $d_з(x)$ и температуры $T(x)$ на прямом конусе кристалла примут вид

$$d_з(x) = d_0 + \frac{x \cdot \left[d_1 - d_0\right]}{x_1},$$

$$T_{зп}(x) = T_к + C_t \cdot \frac{\left[L_0 - C_V \cdot V_{зп}(x)\right]}{\left[d_0 + \frac{x \cdot \left[d_1 - d_0\right]}{x_1}\right]},$$

где x_1 – координата завершения формирования прямого конуса кристалла; L_0 – величина осевого градиента в кристалле на конусной части; d_0 – диаметр вытягиваемой шейки кристалла; d_1 – диаметр цилиндрической части кристалла.

Выражения по заданию диаметра $d_з(x)$ кристалла и температуры $T(x)$ на цилиндрической части кристалла примут вид

$$d_з(x) = d_1,$$

$$T(x) = T_к + C_t \frac{\left[L_0 + \left[x - x_1\right]\frac{\left(L_1 - L_0\right)}{\left(x_2 - x_1\right)} - C_V \cdot V_{зп}(x)\right]}{d_1},$$

где x_2 – координата завершения формирования цилиндрической части кристалла; L_1 – осевой градиент в кристалле в конце цилиндрической части.

Выражения по заданию диаметра $d_з(x)$ кристалла и температуры $T(x)$ на обратном конусе примут вид

$$d_з(x) = d_1 - \frac{\left(x - x_2\right) \cdot \left[d_1 - d_0\right]}{\left(x_3 - x_2\right)},$$

$$T_{зп}(x) = T_к + C_t \frac{\left[L_1 - C_V \cdot V_{зп}(x)\right]}{\left[d_1 - \frac{\left(x - x_2\right)\left[d_1 - d_0\right]}{\left(x_3 - x_2\right)}\right]},$$

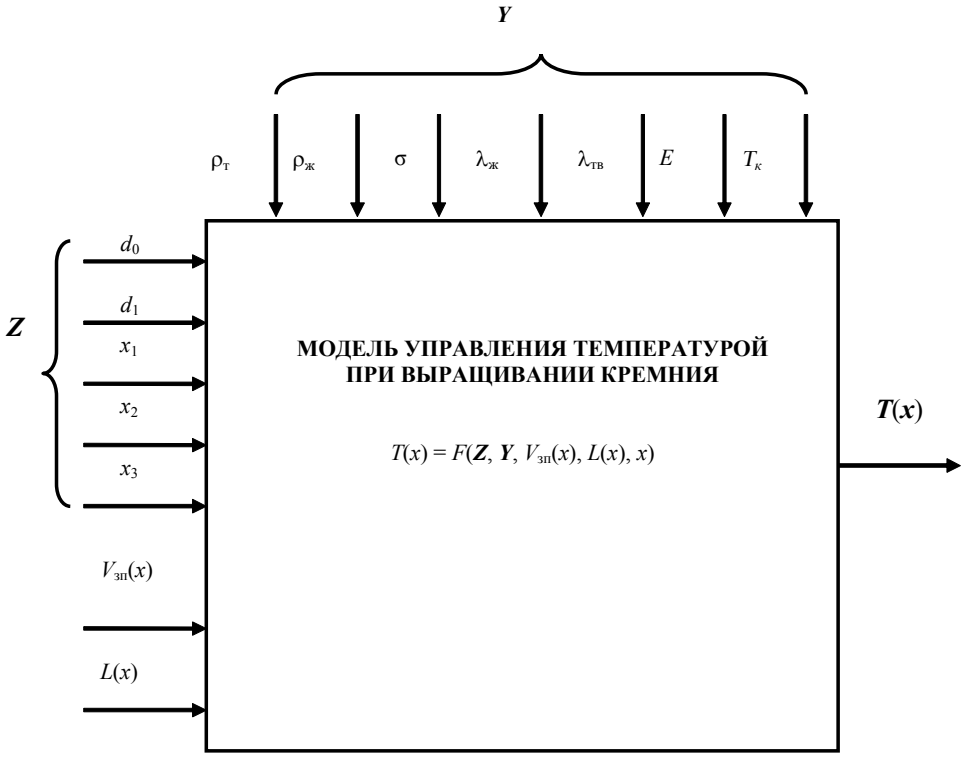


Рис. 2. Модель управления температурой при выращивании кремния

где x_3 – координата завершения формирования обратного конуса кристалла.

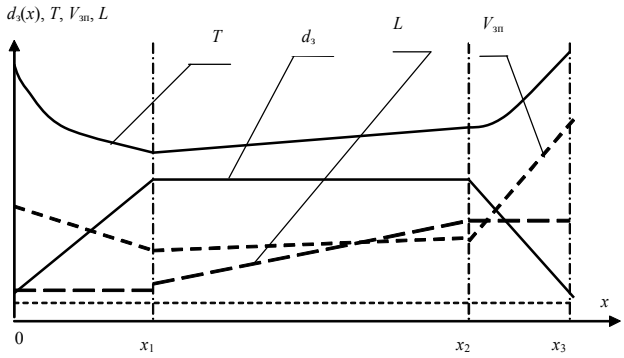


Рис. 3. Здание параметров процесса выращивания кристаллов кремния: $d_з$ – задание диаметра выращиваемого монокристалла; T – программное задание закона изменения температуры; L – задание осевого градиента; x – перемещение кристалла; x_1 – координата завершения формирования прямого конуса кристалла; x_2 – координата завершения формирования цилиндрической части кристалла; x_3 – координата завершения формирования обратного конуса кристалла; $V_{зп}$ – программное задание закона изменения скорости вытягивания

Моделирование температуры выращиваемых кристаллов кремния разных диаметров с заданием диаметра и скорости вытягивания на всех участках выращиваемого кристалла на основе приведенных зависимостей и теплофизических постоянных материала кремния [4] приведено на рис. 4–6.

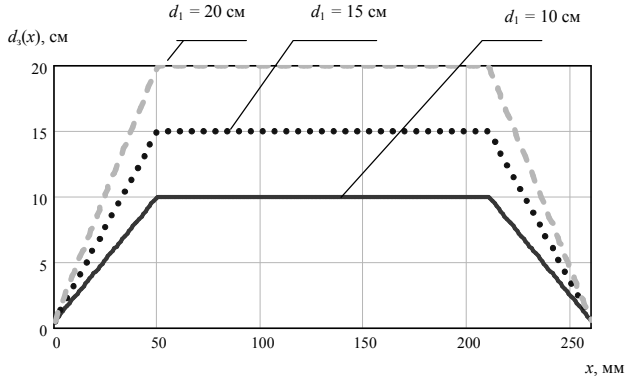


Рис. 4. Задание диаметра кристалла кремния: x_1 = 50 мм; x_2 = 210 мм; x_3 = 260 мм; d_0 = 0,5 см

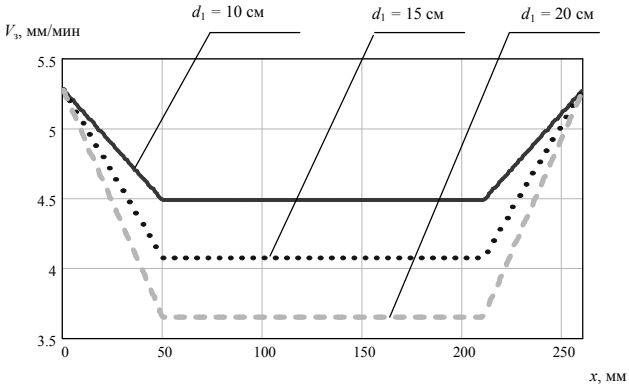


Рис. 5. Задание скорости вытягивания кремния: d_0 = 0,5 см; x_1 = 50 мм; x_2 = 210 мм; x_3 = 260 мм

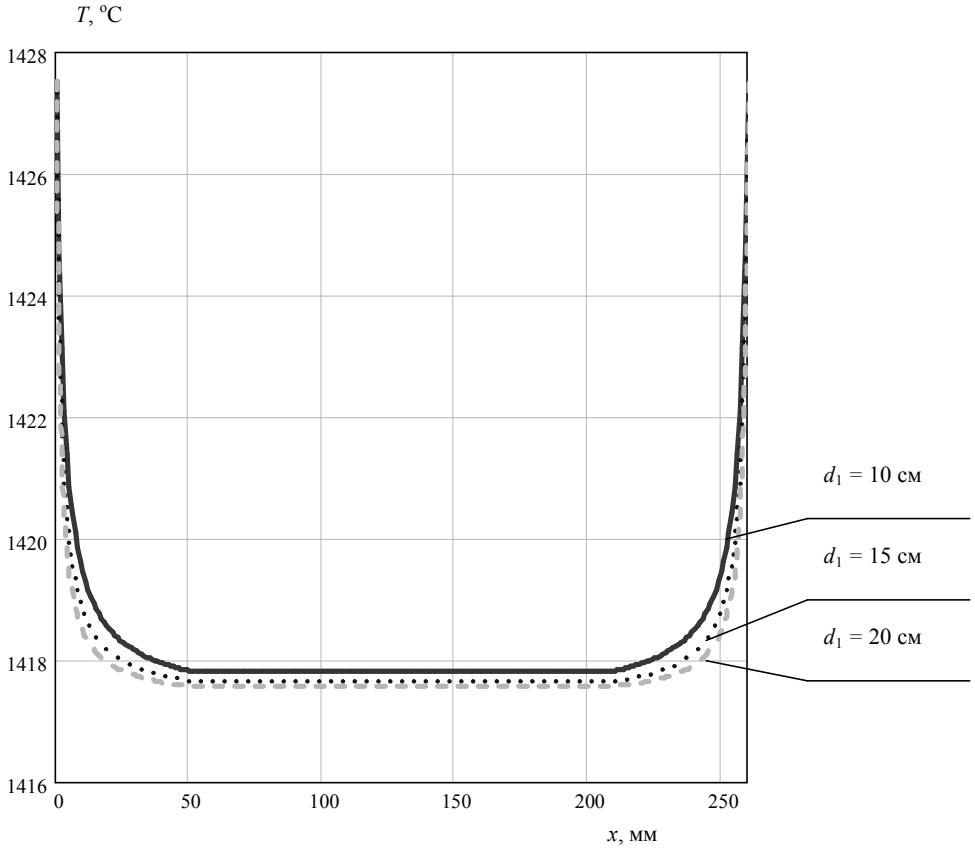


Рис. 6. Задание температуры вытягивания кремния: d_0 = 0,5 см; x_1 = 50 мм; x_2 = 210 мм; x_3 = 260 мм

Моделирование программы задания температуры позволяет без процесса предварительного вытягивания монокристалла кремния ввести смоделированное задание температуры в систему управления установкой вытягивания, что значительно сокращает цикл изготовления готовой продукции. Для системы автоматического управления выращиванием кристаллов кремния необходимо учитывать и то обстоятельство, что в системе управления регулирование температуры расплава осуществляется на основе задания и регулирования температуры части боковой поверхности нагревателя с применением оптических пирометров, что можно учесть с помощью измерения и последующего расчета коэффициента связи средней температуры расплава и регулируемой области нагревателя.

Таким образом, предложена математическая модель формирования задания температуры на установке выращивания монокристаллов кремния, которая позволяет при изготовлении готовой продукции смоделировать и автоматизировать процесс ввода программного задания температуры в систему управления установкой перед процессом выращивания монокристалла, что сокращает цикл получения качественной продукции для каждой новой марки выращиваемых кристаллов.

Библиографические ссылки

1. Разработка прибора прецизионного регулирования температуры с использованием светопровода : отчет Гиредмет по науч.-исслед. теме СКБРМ-1. М., 1962.

2. Саханский С. П. Управление температурой нагревателя на установке выращивания монокристаллов германия // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2008. № 1. С. 42–46.

3. Саханский С. П. Управление процессом выращивания монокристаллов германия: моногр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008.

4. Бабичев А. П., Бабушкина Н. А., Братковский А. М. Физические величины : справ. / под. ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мелихова. М. : Энергоатомиздат, 1991.

S. P. Sakhanski, S. M. Barkin

MODEL OF TEMPERATURE ASSIGNMENT OF SILICON GROWING

Mathematical model of formation of temperature setting for silicon mono crystal growing system by Czochralski method is offered in the article. The model allows to automate the process of its entering to microprocessor control system.

Keywords: model, temperature, growing, mono crystal, silicon.

© Саханский С. П., Баркин С. М., 2010

УДК 669.295

Т. В. Пискажова

СПОСОБ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АЛЮМИНИЯ

На основе математической модели процесса разработаны алгоритмы управления химическим составом электролита с оптимальным расчетом управляющих воздействий. Алгоритмы вошли в состав АСУТП электролиза, и при внедрении нового способа управления был получен экономический эффект.

Ключевые слова: математическая модель процесса, алгоритмы автоматического управления, стабилизация состава электролита.

Одной из важных задач при управлении процессом электролитического получения алюминия является разработка алгоритмов автоматической системы управления для стабилизации технологических параметров возле назначенных целей.

Сущность процесса электролиза состоит в следующем. В прямоугольных ваннах (электролизерах), футерованных углеродистыми материалами, находится на подине слой расплавленного алюминия, выше – слой электролита (рис. 1). На стенках ванны образуется настыль из застывшего электролита. Температура процесса около 960 °С. Сверху в ванну опущен угольный анод, частично погруженный в электролит. Катодом служит расплавленный алюминий. Электролитическое разложение глинозема, растворенного в электролите, происходит в междуполюсном зазоре «анод–металл».

При прохождении тока через токоподводящие элементы и сам электролизер, возникают значительные электромагнитные силы, создающие стационарные магнитогидродинамические (МГД) явления в расплавах внутри ванны, а также нестационарные возмущения поверхности раздела.

Кроме того, при прохождении тока через электролит выделяется большое количество тепла, которое, с одной

стороны, необходимо для поддержания реакции электролиза. С другой стороны, температуры различных слоев и областей электролизера должны быть постоянны и оптимальны, поэтому обязательно наличие защитного слоя настыли на бортах электролизера.

В связи с наличием настыли и различным химическим составом расплавленного и застывшего электролита в электролизере присутствует взаимосвязь теплового и массового баланса. Поэтому задача управления составом электролита эффективно решается только вместе с решением тепловой задачи.

Математическая модель процесса. Математическое описание процесса должно содержать следующие разделы:

– модель магнитогидродинамических явлений в расплавах: деформация поверхности раздела, поля скоростей расплавов;

– тепловую динамическую модель электролизера: расчет температур выделенных областей и поверхностей, расчет плавления настыли, уровня спекания анода, тепловых затрат на реакции, нагрева сырья;

– модели массового и электрического балансов: поступление и расход сырья, производство металла, расчет падения напряжения в электролите, прогноз анодных эффектов.

Модель для управления состоит из обыкновенных дифференциальных уравнений и зависимостей, полученных из предварительных расчетов пространственными моделями; это модель для принятия решений в реальном времени.

Программа, содержащая динамическую модель, для расчета получает начальные значения технологических переменных (состав и температура электролита, уровни расплавов, значения силы тока и напряжение на электролизере и т. п.) и по заданному типу электролизера использует параметры конструкции электролизера (размеры шахты и анода, толщины и теплофизические свойства футеровки, характеристики магнитного поля). Осуществляется расчет начального состояния, затем при воздействиях рассчитываются динамические изменения параметров. Выходными данными могут быть все рассчитываемые моделью переменные – температуры областей и поверхностей электролизера, химический состав электролита, толщина настыли, высота спеченного анода, запас МГД-стабильности и т. п.

На основе модели процесса были разработаны два программных комплекса для управления электролизом алюминия: программа «Стабилизация состава электролита на базе математической модели» [1] и учебно-консультационная программа «Виртуальный электролизер» [2]. В статье представлены алгоритмы первой программы для управления химическим составом электролита.

Поскольку для эффективного управления составом электролита необходимо рассчитывать взаимосвязанные изменения теплового и массового баланса электролизера, остановимся на методике тепловых расчетов и определении изменения толщины бортовой настыли.

Тепловая динамическая модель основана на схематизации электролизера по характерным областям и использовании нуль-мерных моделей. Дифференциальные уравнения для расчета динамики средних температур металла, электролита, подовых блоков, слоев анода приводятся в работе [3]. В работе [4] выписаны уравнения для расчета температур бортовой футеровки и слоя настыли и с использованием условия фазового перехода получена формула для динамического расчета толщины настыли, связывающая тепловой и массовый баланс электролизера:

$$\delta_{\text{н}}^{n+1} = 0,5\left(\delta_{\text{н}}^{n} - \frac{\Delta t \cdot \alpha_{\text{э-н}}}{\rho_{\text{н}} L_{\text{н}}}(\hat{T}_{\text{э}} - T_{\text{лик}}^{\text{э}})\right) + \sqrt{0,25\left(\delta_{\text{н}}^{n} - \frac{\Delta t \cdot \alpha_{\text{э-н}}}{\rho_{\text{н}} L_{\text{н}}}(\hat{T}_{\text{э}} - T_{\text{лик}}^{\text{э}})\right)^2 + \frac{2\lambda_{\text{н}} \Delta t}{\rho_{\text{н}} L_{\text{н}}}(T_{\text{лик}}^{\text{э}} - \hat{T}_{\text{н}})}, \quad (1)$$

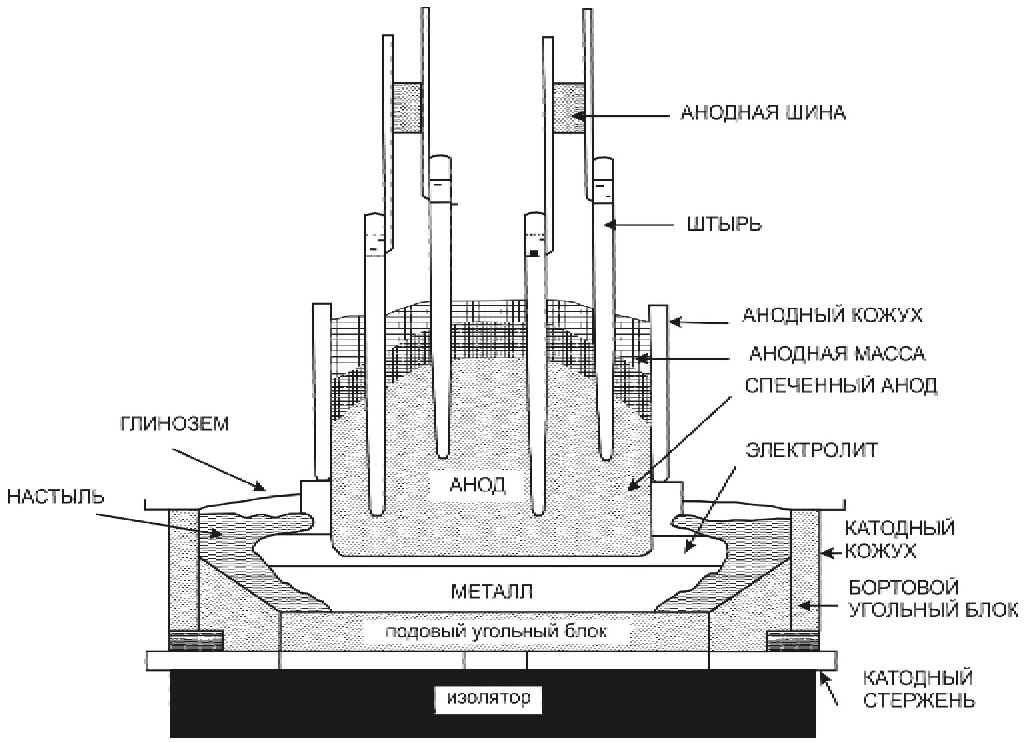


Рис. 1. Поперечный разрез алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом

где $\rho_н$, $L_н$, $\lambda_н$ – плотность, удельная теплота плавления, теплопроводность настыли; $\delta_н$ – толщина настыли; $\hat{T}_н$ – средняя температура слоя настыли. По формуле (1) определяется как новая толщина настыли на каждом временном шаге Δt, так и масса расплавившейся или застывшей настыли за время Δt. Как уже отмечалось выше, изменение массы настыли меняет химический состав всего расплава. Также при добавлении различных видов сырья в расплав меняется температура кристаллизации расплава $T^{Э}_{лик}$, что изменяет тепловой поток из расплава и по уравнениям, приводимым в работе [3], изменяет температуры областей электролизера.

Начальное стационарное распределение температур находится совместным решением систем теплообмена с нулевой правой частью во всех областях. Совокупность систем дифференциальных уравнений для расчета средних температур и теплообмена в выделенных областях, а также уравнения массового баланса решаются численно, методом Эйлера.

Управление химическим составом электролита. Программа «Стабилизация состава электролита на базе математической модели» [1] является предметом ежедневного промышленного использования и рассчитывает для каждого электролизера добавки сырья AlF_3 для корректировки криолитового отношения (КО) электролита – важнейшего параметра химического состава, имеющего непосредственное влияние на эффективность работы электролизера.

Криолитовое отношение равно отношению числа молей NaF/AlF_3 в расплаве. Анализы КО выполняются 1–2 раза в неделю для каждого электролизера. Впервые в практике автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) электролиза в программе использовался встроенный динамический имитатор для расчета прогноза КО между анализами и оптимального выбора суточной дозы сырья AlF_3.

Необходимость расчета прогноза КО обусловлена следующим:

– зависимостью изменений КО от теплового баланса ванны;

– инерционностью КО;

– зависимостью потерь AlF_3 от параметров электролиза и свойств сырья.

Например, если повышать напряжение электролизера, то повысится температура электролита и, как следствие, расплавится настыль, КО повысится, так как криолитовый модуль настыли выше, чем электролита, и мы должны отреагировать на это увеличением подачи AlF_3. Последствия увеличенной подачи AlF_3, изменений напряжения сказываются полностью через 3–5 дней. Необходимость использования динамической модели процесса для управления составом электролита впервые была обоснована в работе [5]. Разумеется, существуют способы управления составом только по результатам анализов химического состава, по стационарным измерениям массового баланса, например, способ, приведенный в работе [6]. Но эти способы требуют настроечных коэффициентов по каждому электролизеру для учета отмеченных выше факторов.

Рассмотрим работу алгоритмов программы (рис. 2). После запроса необходимых данных (блок 1) программа рассчитывает прогноз значений КО и других параметров электролизера на текущий момент (блок 2). Затем по этим

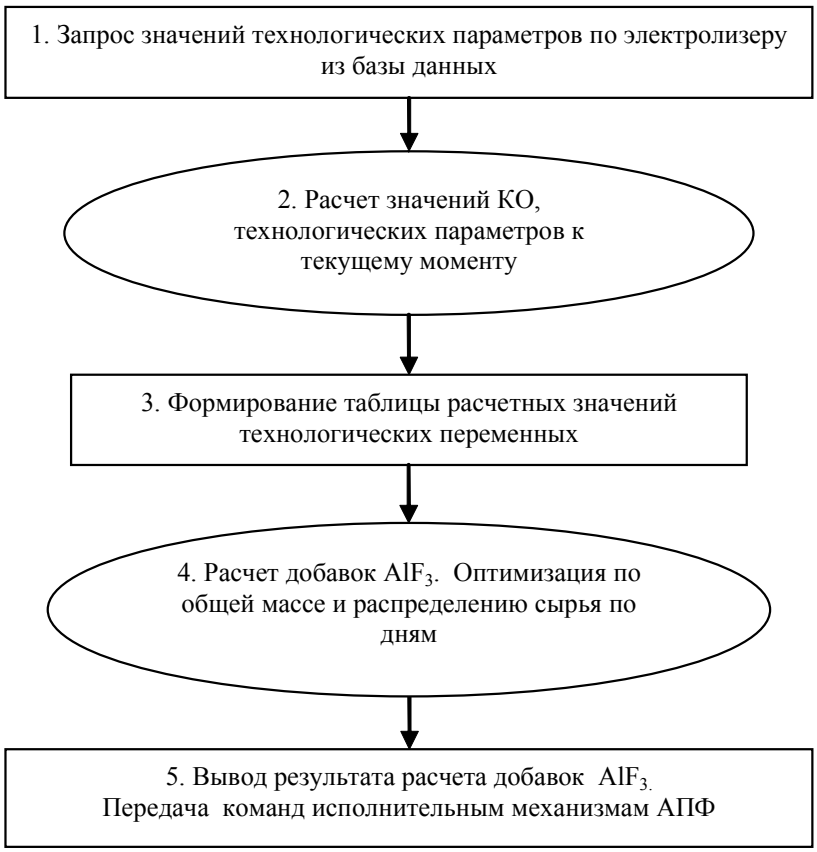


Рис. 2. Схема работы программы «Стабилизация состава электролита на базе математической модели»

спрогнозированным параметрам программа осуществляет расчет добавок сырья AlF_3 на три последующих дня с использованием процедуры оптимизации (блок 4). Эти рассчитанные добавки передаются на исполнительные механизмы системы автоматической подачи фторсолей (АПФ) (блок 5).

Программа должна ликвидировать разницу между прогнозом КО на сегодняшний день и целевым значением КО. Для этого в блоке 4 используется оптимизационная процедура выбора общей массы добавки сырья M и распределения этого сырья по дням $m1$, $m2$, $m3$: $M = m1 + m2 + m3$. От разных способов добавки сырья меняется прогнозируемый тренд $\text{КО}_{i\text{факт}}$ в целевой функции $dFun$:

$$dFun = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(\text{КО}_{\text{цель}} - \text{КО}_{i\text{факт}}(m1,\ m2,\ m3))^2}{N}} \to \min \quad (2)$$

где N – общее число расчетных шагов.

Для оптимизации используется метод градиентного спуска (рис. 3). Градиент определяется в пространстве двух переменных – общей массы сырья M на три дня и распределения массы по дням.

Начальная масса сырья определяется из стехиометрической разности между целевым КО и прогнозируемым на текущий момент, начальное распределение сырья – поровну на дни оптимизации. Это средняя точка креста оптимизации. Затем при равномерном распределении массы по дням общая масса сырья увеличивается (левая точка креста) и уменьшается (правая точка креста). Верхняя и нижняя точки получаются увеличением или уменьшением добавки сырья в первый день с сохранением общей первоначальной массы. На построенном пятиточечном кресте определяется градиент целевой функции.

Далее осуществляется одномерный спуск в направлении антиградиента до достижения заданной точности ξ либо до прекращения уменьшения целевой функции. В последнем случае снова находится градиент в точке, куда мы спустились, и снова осуществляется спуск.

На выходе из процедуры оптимизации, при переходе к блоку 5 (см. рис. 2), имеем график суточных добавок

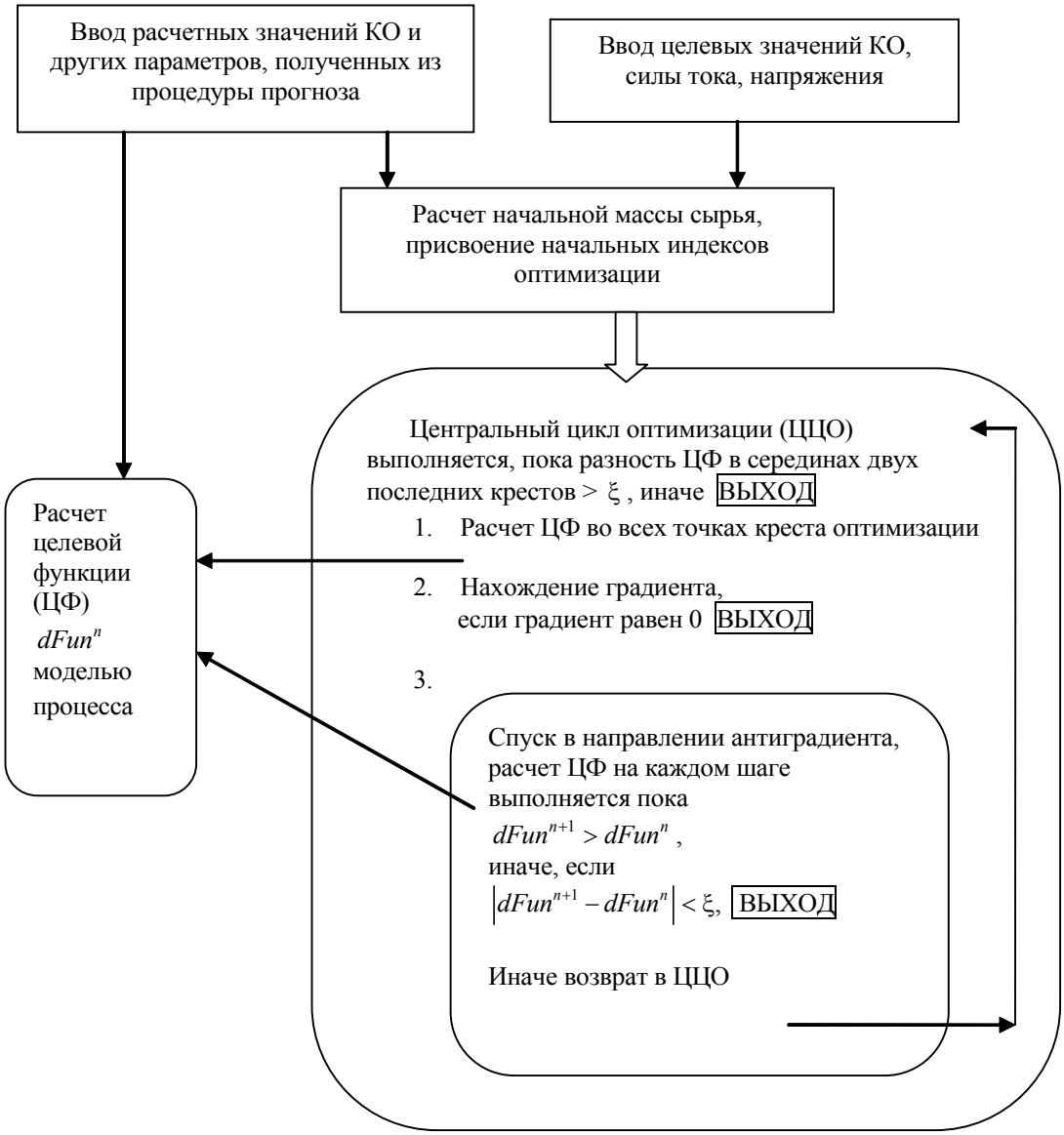


Рис. 3. Схема работы процедуры оптимизации

сырья, значения технологических параметров, рассчитанные при последнем шаге оптимизации.

Результаты расчетов выводятся либо в виде специальной таблицы для технологов корпусов, не оборудованных системой автоматической подачи фторсолей (рис. 4), либо передаются сразу в виде команд АСУТП на исполнительные механизмы АПФ.

Интерфейс программы с выполненным расчетом сырья приведен на рис. 4. Например, на электролизер № 350 рассчитано по 18 кг добавки AlF_3 на каждый день, что близко к нормативному расходу (последний столбец), а на № 353 добавки в первый и второй день – 43 и 27 кг – значительно превышают нормативный расход. Это связано с отличием полученного значения КО от цели. В столбце «Прог. КО» указывается расчет прогноза КО на текущий момент, в столбце «Тек. КО» – результат последнего измерения КО, в столбце «Цел. КО» – целевое значение параметра по каждому электролизеру.

Программа на всех заводах внедрялась на опытных группах или корпусах, результаты которых сравнивались с корпусами-«свидетелями». Так, на Красноярском алюминиевом заводе программа в течение года работала на половине корпусов, на второй половине корпусов завода управление КО осуществлялось технологами.

Кроме улучшения качества управления, снижения количества отклонений по КО, было также получено снижение удельного расхода сырья AlF_3 не менее 3 %. При испытаниях на Новокузнецком алюминиевом заводе была достигнута экономия сырья до 8 %. Экономию сырья обеспечил именно оптимальный расчет добавок. За счет этого снизилось время нахождения электролизера в состоянии технологического нарушения, и уменьшились потери фторида алюминия. Подробнее о внедрении и эксплуатации программы на этих заводах рассказано в работах [7; 8]. На Хакасском алюминиевом заводе (ХАЗ) программа работает с момента пуска завода. Этот завод оборудован системой автоматической подачи фторсолей, что позволило полностью автоматизировать управление КО. Стандартное отклонение КО на ХАЗе не превышает 0,06 единиц, что является очень хорошим показателем качества управления.

Таким образом, благодаря использованию встроенной математической модели программа смогла заменить технолога по составлению ежесуточного задания на каждый электролизер по добавке фторида алюминия – это было основной задачей разработки алгоритмов. Но программа принесла еще экономический эффект:

1. Улучшение качества управления – снижение среднеквадратичного отклонения криолитового отношения от целевого значения не менее чем на 0,03 единицы.

2. Снижение удельного расхода AlF_3 в среднем на 1 кг на тонну алюминия. На некоторых опытных корпусах экономия доходила до 3 кг на тонну алюминия. Это составляет от 3 до 8 % удельного расхода сырья.

Программа внедрена на Красноярском, Новокузнецком, Хакасском алюминиевых заводах и функционирует в составе АСУТП. В режиме промышленной эксплуатации программы обеспечивается выполнение технологических требований к стабильности параметра КО. Расход сырья AlF_3 на всех отмеченных производствах удовлетворяет техническим нормам.

Библиографические ссылки

1. Стабилизация состава электролита на базе математической модели : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Манн В. Х., Юрков В. В.,

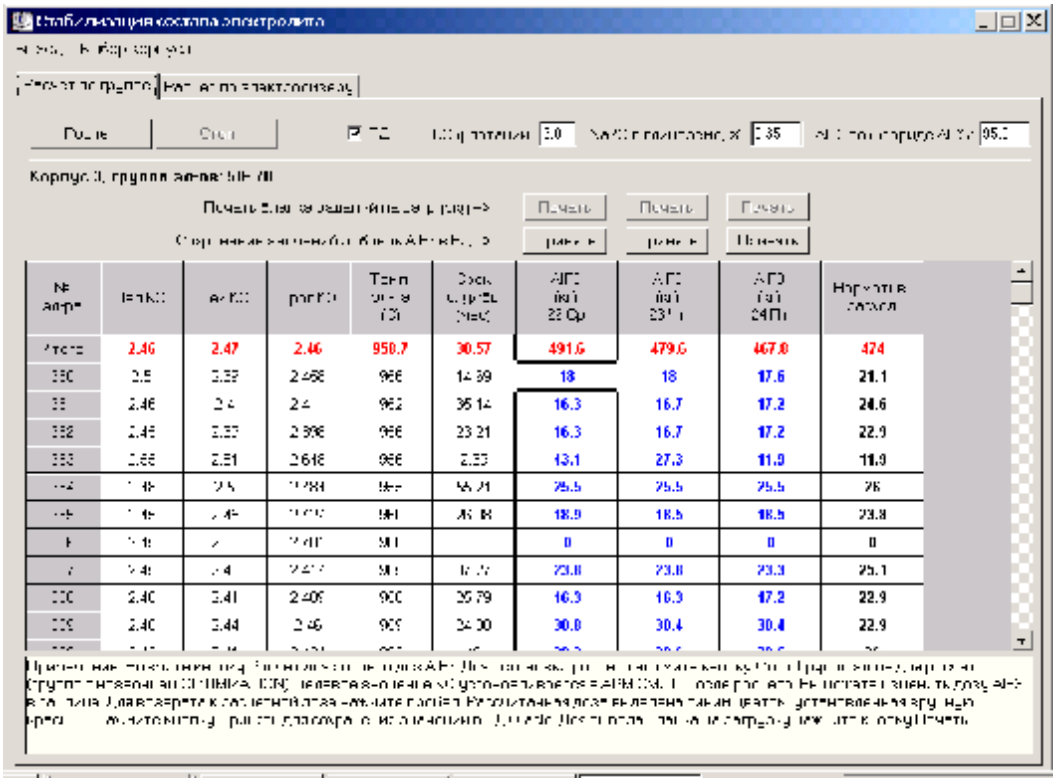


Рис. 4. Примеры расчетов программой стабилизации состава электролита

Пискажова Т. В., Требух О. А., Никандров К. Ф. ; РОСПАТЕНТ. № 2003612185 ; 23.09.2003.

2. Учебно-консультационная программа «Виртуальный электролизер» : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Никандров К. Ф., Пискажова Т. В., Синельников В. В., Манн В. Х. ; РОСПАТЕНТ. № 2003610551 ; 28.02.2003.

3. Белолипецкий В. М., Пискажова Т. В., Емельяшин М. В. Тепловая динамическая модель для управления технологией электролиза алюминия // Вестн. СибГАУ. Вып. 5 (12). 2006. С. 19–24.

4. Белолипецкий В. М., Пискажова Т. В. Тепловая динамическая модель для автоматического управления технологией производства алюминия // Вестн. КазНУ. Т. 13. Вычислительные технологии. 2008. № 3(58). С. 267–274.

5. Манн В. Х., Юрков В. В., Пискажова Т. В. Исследование зависимости между криолитовым отношением и температурой электролита в алюминиевом электролизере // Цветные металлы. 2000. № 4. С. 95–101.

6. Entner Peter M. Control of AlF_3 Concentration // Light Metals. 1992. P. 369–374.

7. Piskazhova T. V., Mann V. C. The Use of a Dynamic Aluminum Cell Model // JOM. Vol. 58, № 2. 2006. P. 48–52.

8. Виртуальный электролизер и его практическое применение на ОАО «КрАЗ» / Т. В. Пискажова [и др.] // Алюминий Сибири : сб. ст. Красноярск, 2002. С. 60–65

T. V. Piskazhova

METHOD OF OPTIMUM CONTROL OF ELECTROLYTE CHEMICAL COMPOSITION AT ALUMINUM PRODUCTION

Algorithms for electrolyte chemical composition control with optimum calculation of operating influences were developed on the basis of mathematical model of process. These algorithms were entered to automatic Control System, and this new way of control resulted in economic benefit.

Keywords: mathematical model of process, algorithms for automatic control, electrolyte composition stabilization.

© Пискажова Т. В., 2010

УДК 620.17

G. G. Krushenko

TESTING OF ALUMINUM-SILICON ALLOYS MECHANICAL PROPERTIES ON SEPARATELY CASTED SPECIMENS

The mechanical properties of aluminum alloys before casting into moulds were determined on separately casted control specimens casted in horizontal or vertical forms. A comparison of the mechanical properties (tensile strength σ_t, elongation δ, hardness HB) of 12-mm-diameter individually casted of AK7ch alloy control specimens and its density in the solid state (ρ) showed that it is necessary to use specimens casted in a horizontal mold for evaluation of castings quality.

It was estimated that position of separately casted test samples in the foundry metal form influences the indicators of mechanical properties of aluminium-silicon alloys.

Keywords: aluminum-silicon alloys, tested specimens, mechanical properties.

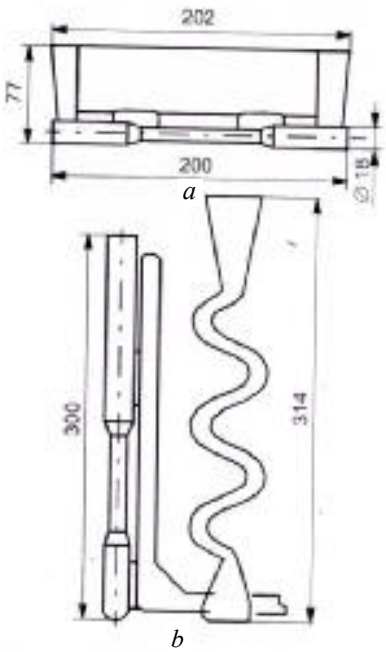
In chill mold casting of aluminum alloy parts individually cast test specimens with a diameter of 12 mm are poured in some plants in a horizontal chill mold and in others in a vertical one (see the figure).

In order to establish the influence of the position of test specimens in the chill mold on mechanical properties tests were made on one of the common aluminum casting alloys, AK7ch (RF Aluminium casting alloys GOST 1583–93: 6,0–8,0 % Si; 0,2–0,4 % Mg; Al – remainder), a typical representative of Al-Si system alloys. After tests of the 12-mm-diameter specimens cast in horizontal and vertical chill mold from their heads there were machined specimens with a gage length diameter of 6 mm, which were also tested to fracture. Before the test their density was found by the method of hydrostatic weighing [1].

According to the results obtained the tensile strength σ_t of the separately cast vertical specimens is 238 MPa and of the horizontal 225 MPa while, on the other hand, the elongation δ is higher for the horizontal specimens, 6,19 % vs 3,3 %. Such differences in absolute values of the mechanical properties are related to the fact that the specimens were cast in different plants in which the alloys were produced from different charges and by different methods.

A study of the geometry of gating and feeding systems of both types of chill mold showed that they differ

significantly. For example in the horizontal chill mold there was a single specimen with a weight of 0,125 kg. The specimen was poured and fed with a 0,675 kg tapered feeder head with delivery of metal to each 18-mm-diameter head by a vertical slitshaped feeder (the cross-sectional area of each of them was $7{,}57 \cdot 10^{-4}$ m^2 and the total area $1{,}157 \cdot 10^{-3}$ m^2) and to the 12-mm-diameter gage length by a feeder with a cross-sectional area of $4 \cdot 10^{-4}$ m^2. In the vertical permanent mold there were two specimens each weighing 0,165 kg. The metal was fed to it to the 18-mm-diameter heads by slit-shaped vertical feeders with a cross-sectional area of each of $2{,}52 \cdot 10^{-4}$ m^2 (total area $5{,}04 \cdot 10^{-4}$ m^2 from two slitshaped vertical metal lines). The weight of the gating and feeding system was 0,85 kg.



12-mm-diameter test specimens cast in permanent molds horizontally (*a*) and vertically (*b*)

The length of the horizontal specimens was 200 mm, which corresponds to the required final size, while the length of the vertical ones was 300 mm, as a result of the longer length of the upper head which provided feeding of the solidifying specimen. Before testing the specimen was shortened to 200 mm. The mechanical properties were determined in the T5 heattreated condition and the hardness HB with parameters of 10/1000/30.

After tests of the 12-mm-diameter specimens cast in horizontal and vertical chill molds from their heads there were machined specimens ∅ 6 mm. An analysis of the results of tests its specimens showed that for horizontal specimens the mechanical properties differ less than for vertical. For example, the σ_t of specimens from the heads of horizontal specimens differs by 1,7 % while for vertical by 2,7 % (1,58 times more) while for specimens from the lower heads more significantly with 6 by 0,4 and 10,0 % (by 25 times) and HB by 0,7 and 2,7 % (by 3,85 times).

For the vertical specimens all of the properties of the specimens ∅ 6 mm were higher from the lower heads. The density of the specimens of both heads of the horizontal specimens is the same while for the vertical specimens it is 0,31 % higher than the density of the specimens from the lower heads. It is known that the density of aluminum alloys of the system (Al-Si) to which AK7ch belongs reflects the presence in castings of discontinuities of gaseous and shrinkage origin on the macro- and microlevels and the amount of them correlates with the mechanical properties. At that it was established [2] a correlation between σ_t and ρ at the preparation of the alloy AK9ch (system Al-Si: 8,0–9,5 % Si; 0,17–0,30 % Mg; 0,2–0,5 % Mn; Al – remainder) by different technologies: σ_t was smaller than ρ approximately in 10 times (in limit of 9,90–10,40). So, if ρ is divided by 10 it can be σ_t without any testing alloy specimens on rupture.

A study of a longitudinal axial cross section of 12-mm-diameter tested specimens made it possible to reveal in the upper head of a vertically cast specimen a concentrated conical shrinkage cavity 10,5 mm deep, 7 mm below which is located a zone of scattered shrinkage porosity described by an ellipsoidal contour with a height of 12 mm and a width of 9 mm. In general the upper head has shrinkage defects to a depth of 30 mm, which is 21,4 % of the height of the head before machining. In the 12-mm-diameter gage length there are no shrinkage or other defects.

Measurement of the hardness HB (5/250/30) along the height of the vertical specimen showed that it remains constant (688 MPa) over the whole height and over the gage length all the way to a height of the specimen of 196 mm (68 mm below the ellipsoidal contour of the shrinkage porosity). Then the hardness drops continuously and reaches 595 MPa at a point 10 mm from the lower boundary of appearance of shrinkage porosity (the hardness was not determined in the zone of shrinkage defects). At the same time the hardness measured along the length of a specimen horizontally cast from the same metal (measurements made on the side surface) at 10 points was the same (724 MPa) and at one (on the head), judging from the somewhat smaller impression diameter (by about 0,2 mm), is somewhat higher.

A comparison of the results obtained indicates that horizontally cast specimens possess more stable properties over the whole length and this makes it possible to recommend them for mechanical property tests of aluminum casting alloys.

The obtained results were confirmed by cast the holder component made of AK7 Al-Si system (6,0–8,0 % Si; 0,2–0,5 % Mg; 0,2–0,6 % Mn) of aerospace engine into permanent mold at two different plants: σ_t of specimens from that holder was 275 MPa and from holder it was 305 MPa (10,9 % more), accordingly, δ were 2,5 и 5,5 % (by 2,2 more).

Bibliography

1. Influence of position in the mold of cast test specimens on the mechanical properties of aluminum specimens / Z. A. Vasilenko [et. al.]. URL: http://www.springerlink.com/content/k4879.

2. Крушенко Г. Г., Василенко З. А. Плотность и механические свойства силуминов, термически обработанных в жидком состоянии // Расплавы. 1988. Т. 2. Вып. 6. С. 67–69.

Г. Г. Крушенко

ИСПЫТАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ОТДЕЛЬНО ОТЛИТЫХ ОБРАЗЦАХ

Механические свойства алюминиевых сплавов перед заливкой определялись на отдельных контрольных образцах, отлитых в горизонтальные и вертикальные формы. Сравнение механических свойств (прочность σ_t, удлинение δ, твердость HB) отдельно отлитых из сплава АК7ч образцов диаметром 12 мм и плотности в твердом состоянии (ρ) показало, что для оценки качества отливок необходимо применять образцы, отлитые в горизонтальные формы.

Установлено, что положение в литейной металлической форме отдельно отлитых испытательных образцов влияет на показатели механических свойств алюминиево-кремниевых сплавов.

Ключевые слова: алюминиево-кремниевые сплавы, испытательные образцы, механические свойства.

© Крушенко Г. Г., 2010

УДК 621.644.073

V. V. Stepanov, G. G. Krushenko

THE ASSESSMENT OF HIGH PRESSURE PIPELINES OF THERMAL STATIONS STATE BY NONDESTRUCTIVE METHODS

The method of the monitoring of the thermal stations high pressure pipeline is described.

Keywords: thermal stations, high pressure pipeline, monitoring.

High pressure pipelines are widely used in thermal stations. Parameters of pipeline usage reach $T = 560$ °C and $P = 14$ MPa. The special steels and alloys applicable for the fabrication element of these pipelines work in creeping conditions [1], i. e. to the maximum of their capabilities. Creep is the significant factor that caused failure of steam pipelines with high temperature and high pressure in the period of long-term service [2].

Besides, pipelines have large extent (dozens and hundreds of meters) and present a complex of volume-spatial construction requiring increased attention, not only by the strong feature of separate elements, but also to construction as a whole.

Breach to integrity of separate elements brings, as a rule, serious consequence, not only as breaches of the production process, but also creates a serious threat to lives and health of the personnel of the enterprise.

For ensuring the reliable usage of such pipelines, it is necessary to implement many components of a system of the monitoring for their condition in the enterprise [3; 4].

It contains the incoming control of pipeline elements and planned-preventive control the condition of the metal these elements and control the condition supporting-hanging system for performing the conditions to toughness, acerbity and self compensation of the pipeline as a whole. Besides, in obligatory order, the presence is necessary in the enterprise of instruments uncompromising control and the other special equipment, accounting methods and skilled personnel capable to analyze the information, received by control the condition of the equipment.

The assessment of the condition of the pipeline as a whole is formed from estimation of the condition forming its elements. Such elements can number from dozens to several hundreds. Each element of the pipeline is checked by several methods of uncompromising control. Depending on the type of element, from one to seven of such methods can be used. Moreover, during the usage period of the element, with determined by periodicity, several (approximately ten) planned estimates of its conditions are conducted. Therefore, a large volume of information is received, which is necessary to analyze as in approach at the time of undertaking the control, so and track record of the change characteristic for the whole period of the usages. In addition, in process of the pipeline usages it is necessary to trace constantly its spatial position and take into account receiving dates when scheduling the accounting schemes of the adjustment supporting-hanging system.

After collection and systematization of data, received in the course of uncompromising control, it is necessary to use received information as raw data for accounting methods, by means of which is defined the remaining resource pipeline elements, and are revealed the tensest places for adjustment of the methods and volumes of the control.

As a whole, the picture of the condition of the pipeline forms on base collected for the whole period of the work dates and their analysis by means of special accounting methods. Further, it is necessary to take into account the parameters to usages, for instance such as temperature and pressure, and their detours from the given level for the whole period of the usages of the pipeline.

The work period of such a pipeline is several decades. Therefore, for making a decision about possibility and period to further usage of the pipeline, as well as for the purpose of the most optimum volumes and methods of the control its elements is necessary to process the enormous volume of information. Herewith, the entire information must be analyzed in its entirety. It means for instance data collected to move uncompromising control and data, received in the process of monitoring moving of the pipeline, permanently bound and are only different manifestations of one process.

Collected information in the monitoring course has a heterogeneous nature and it is difficult to generalize. For its analysis is necessary joint simultaneous work several narrow specialists. These requirements in assessing the process of the pipeline's condition are relatively labor and time consuming. Moreover, each specialist works out its wording of the pipeline condition in accordance with its specialization. Therefore, total estimation of the pipeline condition presents itself several features including restrictions and tolerances each of specialists.

Such approach obstructs the further work with result, receiving in the course of the condition estimations since that only first stage in providing reliable equipment usage. Hereinafter goes a repair planning, calculation labor and financial expenses required for the equipment maintenance and etc.

In modern conditions for an enterprise rational use labor and financial resources for provision of maximum efficiency of the use the available equipment become specifically important, i. e. it is necessary to determine the optimum way of the distribution resources when undertaking repair-reconstruction action. Moreover, for production technical politicians for the further period necessary possibility motivated forecasting of the change the condition of the equipment and accordingly error economic variant provision to reliable usage of the equipment.

Therefore, today system allowing generalize heterogeneous information, collected in the monitoring process and present it in the manner of suitable for the further analysis (financial- economic, material-technical, technological and etc.) is urgently required.

Coming from aforesaid, is possible to formulate the approximate requirements to such system.

The description principles of the equipment must be universal and could be used for any type of the equipment.

The condition description principles of the equipment being the basis of such systems must be simple and must be based on generally accepted term and determinations.

The description wordings of the condition objects must be simple and comprehensible for any following analysis connected with production activity of the enterprise.

In accordance with these requirements possible more detailed to formulate the principles being the basis of systems.

1. Principles of the equipment description:

1.1. Hierarchical model «Unit-Node-Element» must be used at the equipment description:

1.1.1. The largest object in this model is «Unit».

1.1.2. The unit list is formed on functional signs.

1.1.3. «Unit» consists of «Nodes». «Node» is an integral part of «Unit».

1.1.4. Between itself «Nodes» can differ or design, or nature and parameter to usages. Or that, and others together.

1.1.5. «Element» is the smallest indivisible part of «Node» and accordingly of «Unit».

1.2. For each element of the hierarchies are possible three signs:

1.2.1. Sort.

1.2.2. Type.

1.2.3. Specific name (own unique name).

2. The description principles of the equipment condition:

2.1. The main way of the determination of the object condition is technical diagnostics. When undertaking technical diagnostics must be used notions specified state standard GOST RF 20911–89 «Technical diagnostics. Terms and definitions».

2.2. All parameters, defining technical condition of the object must be determined existing normative-technical documentation.

2.3. The condition of the equipment object is described by means of notion specified GOST RF 27.002–89 «Reliability in technology. Main notions. Terms and definitions».

2.4. As the description term of the condition must be used terms:

2.4.1. Fault-free condition.

2.4.2. Fault condition.

2.4.3. Workable condition.

2.4.4. Unworkable condition.

2.4.5. Limiting condition.

3. Total conditional wording of the equipment object:

3.1. The object condition is described three features formed from five possible meanings described in points 1.4.1–1.4.5.

It is possible to realize these principles only with use of modern information technology. It means by development and introduction of program and hardware complex. Moreover, under hardware this complex facility to switching of the computing facilities in local-area network of the enterprise scale is understood. For these integers, specially designed networks as well as existing ones can be used.

The programmed part of such complex function must consist of the equipment database, database results of technical diagnostic and special designed programmed modules, by means of which is realized information handling in accordance with description principles of the equipment condition.

The total several years of the group working the authors became the attempt to realize all aforesaid with reference to pipeline of the high pressure. The result of the work became making the programmed complex «Control the metal» [5].

The purpose of the complex is collection and systematization of information about the condition of equipment of object control, about result technical diagnostics for the whole usage period, about its condition and parameters of pipeline usages.

In composition of the complex is included a module, allowing the realization of the system of assessment of conditions of elements and the pipeline as a whole, in accordance with principle stated above.

Bibliography

1. Бугай Н. В., Березина Т. Г., Трунин И. И. Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования. М. : Энергоатомиздат, 1994.

2. Creep damage prediction of the steam pipelines with high temperature and high pressure /Xiao-Chi Niu [et. al.] // International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 86. Iss. 9. 2009. P. 593–598.

3. Степанов В. В., Кашубский Н. И., Кокшаров И. И. Мониторинг трубопровода высокого давления // Решетневские чтения : материалы VII Всерос. науч. конф. с междунар. участием // Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т им. акад. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2003. С. 271–272.

4. Monitoring Pipelines Through Acoustic Method / Elisangela O. Sousa [et. al.] // Computer Aided Chemical Engineering. Vol. 27. 2009. P. 1509–1514.

5. Степанов В. В., Крушенко Г. Г. Оптимизация технического обслуживания трубопроводов тепловых электростанций // Тяжелое машиностроение. 2009. № 2. С. 5–8.

В. В. Степанов, Г. Г. Крушенко

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Описан метод мониторинга трубопроводов высокого давления тепловых электростанций.

Ключевые слова: тепловые электростанции, трубопровод высокого давления, мониторинг.

© Степанов В. В., Крушенко Г. Г., 2010

УДК 658.562: 629.76

Ю. В. Ерыгин, С. А. Максимов, Т. А. Седнева, О. С. Станишевская

РОЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЛИНГА В УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ[1]

Рассматривается состояние и тенденции развития ракетно-космической промышленности. Определены особенности деятельности предприятий ракетно-космической промышленности, оказывающие влияние на инновационное развитие. Обозначена роль контроллинга и его инструментов в управлении инновационным развитием предприятий РКП.

Ключевые слова: инновационное развитие, контроллинг, ракетно-космическая промышленность.

В обеспечении инновационного развития экономики огромное значение имеют отрасли, образующие ее высокотехнологичный и наукоемкий сектор. Данные отрасли, обладающие повышенной способностью создавать и воспринимать новшества, являются наиболее перспективной базой для использования имеющегося в России научно-технического потенциала.

Большинство наукоемких отраслей представляют основу оборонно-промышленного комплекса (ОПК) России.

Одной из наиболее сложных и наукоемких отраслей ОПК является ракетно-космическая промышленность (РКП). В ней широко используются межотраслевые поставки, в которых участвуют почти все отрасли народного хозяйства.

Для выделения особенностей предприятий РКП, оказывающих влияние на их инновационное развитие, эффективность проведения реструктуризации, в том числе и на эффективность деятельности бизнесов, создаваемых на базе реструктуризируемого предприятия, проведен анализ состояния и тенденций развития предприятий РКП.

В период рыночных реформ 1990-х гг. РКП России, как и вся промышленность страны, переживала период глубокого спада. Можно выделить следующие основные тенденции кризисного периода отрасли [1]:

– резкое снижение объемов производства и НИОКР вследствие сокращения уровня государственного оборонного заказа (ГОЗ) и финансирования;

– резкое снижение объема инвестиций (в десятки раз);

– снижение темпа обновления основных фондов до 0,5–1,0 %, что в 15–30 раз ниже общемировой практики развития наукоемких производств; как следствие, рост доли морально и физически устаревшего оборудования с возрастом более 20 лет (доля оборудования с возрастом менее 10 лет не превышает 20 %, десять же лет назад эта цифра составляла 44 %). В РКП степень изношенности производственного, технологического и испытательного оборудования достигает 80 %. Крайней формой проявления утраты технологий можно считать использование пассивной (или даже активной) части основных производственных фондов в качестве источника альтернативного дохода (арендной платы);

– интенсивный и невосполняемый отток из отрасли квалифицированных научно-технических, инженерных и рабочих кадров. Стареет персонал предприятий и организаций РКП. С падением объемов производства практически все предприятия сократили численность работающих. По целому ряду причин (в стремлении сохранить персонал, надеясь на лучшие времена, из-за низкой эффективности гражданской продукции и др.) производительность труда на предприятиях остается крайне низкой;

– нарушение хозяйственных связей с предприятиями-поставщиками из других государств СНГ, выполнявших значительный объем работ по ракетно-космической технике (в примерной пропорции с разделом потенциала) и др.

Перечисленные тенденции напрямую повлекли за собой удорожание разработок и производства техники, сжатие производственных программ по выполнению ГОЗ (мелкосерийность производства), снижение качества и надежности продукции, утрату некоторых уникальных технологий, выявили проблему недиверсифицированности технологической структуры отрасли (82 % мощностей, занятых профильной продукцией, в новых условиях оказались избыточными) [2]. На предприятиях сложилась непростая социально-экономическая обстановка. Государство не раз предпринимало попытки изменить ситуацию, в основном, с помощью программ конверсии. Однако они оказывались безуспешными, и не только из-за недостаточности финансирования, но в силу абсолютно нерыночной организации предприятий. Только экономический кризис, последовавший за началом реформ, заставил приступить к кардинальному решению проблемы коммерциализации деятельности РКП, ее реструктуризации, повышению эффективности за счет диверсификации и наращивания финансовых источников развития [3].

Последние годы стали переломными в развитии отечественной космонавтики. В этот период государственное финансирование работ несколько увеличилось, что создало благоприятные условия для наращивания потенциала предприятий РКП.

Анализ развития космической деятельности как сегмента мирового высокотехнологичного рынка позволяет выявить некоторые устойчивые глобальные тенденции и процессы [3]:

– неуклонно расширяется круг стран, осуществляющих исследовательские или прикладные программы с использованием космических средств. Развитой космичес-

[1] Работа подготовлена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

кой инфраструктурой, позволяющей самостоятельно решать сложные задачи освоения и практического использования космоса, наряду с Россией обладают лишь США, Франция, Китай, Япония, Индия. Активность в вопросах военного использования космоса проявляют Великобритания и Германия;

– все чаще практикуется концентрация ресурсов и кооперация различных стран при реализации космических проектов, идет процесс интеграции отдельных компаний в крупные международные корпорации;

– развивающиеся страны в космической деятельности главным образом решают экономические задачи в целях своего прогресса. Они развертывают прикладные космические средства (связь), которые им предоставляют страны с высоким космическим потенциалом;

– требования повышения эффективности вложенных в космические исследования и разработки средств, а также снижения удельных затрат в практическом использовании космоса объективно влекут за собой диффузию технологий гражданского и военного назначения;

– на начальных стадиях освоения и использования космического пространства космические программы во всех странах финансируются из государственного бюджета, по мере выхода на уровень рентабельности госфинансирование свертывается;

– стремительно растет сфера коммерческой космической деятельности и доля частных инвестиций в общем объеме ее финансирования;

– конкуренция между странами в области космической деятельности во все большей степени смещается с уровня товарной конкуренции на более высокую ступень – уровень национальных инновационных систем, включающих помимо непосредственного производства систему образования, фундаментальную и прикладную научную отрасль;

– встроенность в глобальные экономические отношения становится одним из главных факторов, стимулирующих интенсивность инновационных процессов в космической деятельности и национальном хозяйстве в целом;

– возрастающая сложность космической продукции и услуг и связанный с их созданием круг научно-технических и экологических проблем неуклонно повышают требования к уровню космических технологий, которые затем в соответствии с экономической целесообразностью и необходимостью тиражируются в других отраслях экономики;

– крупные космические предприятия в целях большей финансовой устойчивости и эффективности создают вокруг себя сети мелких компаний, осваивающих и продвигающих на рынке не только их высокотехнологичную продукцию, но и разработанные ими новые технологии.

Таким образом, космическую деятельность можно отнести к весьма перспективной сфере деятельности, уже сейчас вносящей большой вклад в экономику различных стран.

Значительное влияние на осуществление космической и производственной деятельности предприятиями и организациями ракетно-космической промышленности России в современных условиях оказывают новые факторы [4]:

– недостаток государственного финансирования;

– существенное изменение структуры, сроков и объемов ассигнований космической отрасли, в том числе на мероприятия по обеспечению безопасности, что может повлечь снижение эксплуатационно-технических характеристик изделий ракетно-космической техники, элементов космической инфраструктуры;

– постоянная инфляция;

– кардинальное изменение геополитической обстановки, связанное с суверенитетом РФ и необходимостью выполнения РФ международных договоров и соглашений по использованию и освоению космического пространства;

– усиление конкуренции в космической деятельности и значительное расширение в последние годы рынка коммерческих космических услуг;

– изменения правового пространства, регламентирующего космическую деятельность в РФ, связанные, в частности, с изменением структуры объектов и субъектов обеспечения безопасности космической деятельности, расширением прав юридических и физических лиц, осуществляющих эту деятельность;

– повышение международных и российских законодательных требований по снижению неблагоприятного воздействия космической деятельности;

– нарушение существовавшей ранее кооперации разработчиков, производителей изделий ракетно-космической техники, элементов космической инфраструктуры и эксплуатирующих организаций.

Кроме того, появились новые экономические условия осуществления космической деятельности: отсутствие государственных гарантий возмещения ущербов предприятий и организаций РКП при выполнении космических проектов и осуществлении производственно-хозяйственной деятельности, разгосударствление и самостоятельность части предприятий ракетно-космической промышленности, выполнение не только государственных, но и коммерческих контрактов, участие в космической деятельности предприятий промышленности и организаций с различными организационно-правовыми формами, расширение круга участников космической деятельности, среди которых отечественные и иностранные предприятия РКП, страховые компании, банки, частные инвесторы и физические лица из разных стран. Появились новые формы космической деятельности, такие как космический туризм, созданы совместные с иностранными фирмами компании по предоставлению услуг на международном космическом рынке [4].

В настоящее время наблюдается устойчивый рост объемов продукции, выпускаемой промышленными предприятиями РКП. Увеличение объемов продукции обусловлено расширением работ по космической и боевой ракетной технике, наращиванием работ, выполняемых в интересах национальной экономики, а также работ для зарубежных заказчиков. Это, безусловно, свидетельствует об улучшении рыночных позиций предприятий, однако следует отметить, что зачастую рост основан на приспособлении к второстепенным рыночным нишам, упрощении производства и эксплуатации созданного в советский период научного и технологического задела без

осуществления долгосрочных инвестиций в развитие. Так, одним из наиболее крупных заказчиков предприятий РКП является нефтегазовый комплекс. Однако в большинстве случаев эта группа заказов не является высокотехнологичной и не требует концентрации инвестиций на технологических направлениях, интенсивно развивающихся на мировом рынке.

Особенностью современного рынка космической продукции и услуг является явное превышение предложения над спросом в каждом из его сегментов. К тому же важно отметить, что сегмент запуска космических аппаратов (КА), в котором Россия имеет наиболее прочные позиции, в принципе не является перспективным. Число запусков КА всегда будет ограниченным и не будет иметь тенденции к росту, поскольку постоянно растут и производительность, и сроки активного существования КА на орбите. Поэтому в кратчайшие сроки требуется осуществить переход на инновационный путь развития и освоения таких перспективных на МКР ниш, как связь и вещание, производство навигационной аппаратуры для потребителей [5].

Проведенный анализ состояния и тенденций развития предприятий РКП позволил выделить особенности предприятий РКП, которые в значительной степени оказывают влияние на их инновационное развитие, эффективность проведения реструктуризации, в том числе и на эффективность деятельности бизнесов, создаваемых на базе реструктуризируемого предприятия. К таким особенностям, в частности, относятся следующие.

1. Высокий уровень наукоемкости, технологичности, капиталоемкости производства. Предприятия РКП отличаются крупными размерами и высокой степенью автономности, сформированный за счет огромной инфраструктуры вспомогательных производств и непрофильных активов.

2. Наличие у предприятий РКП собственных ремонтных и строительных баз, уникального дорогостоящего оборудования.

3. Высокая квалификация персонала и культура производства.

4. Увеличение среднего возраста основного производственного персонала, рост его текучести (негативная особенность).

5. Высокий уровень износа (морального и физического) основных средств предприятий РКП.

6. Зависимость деятельности предприятия РКП от государственного заказа, который распределяется на конкурсной основе (т. е. имеет вероятностный характер), а также имеет тенденцию к росту.

7. Возникновение потребности в создании вооружений нового поколения.

8. Возрастание роли конверсии в обеспечении устойчивого развития предприятий РКП и финансировании инноваций.

9. Необходимость концентрации ресурсов для решения задач повышения обороноспособности, предопределяющая интеграцию предприятий РКП.

10. Необходимость реформирования производственной структуры и систем управления предприятиями РКП в связи с реструктуризацией и выходом на рынок конверсионной продукции.

11. Необходимость использования существующего инновационного потенциала предприятий РКП и интеграции на базе научно-исследовательских и конструкторских бюро.

Практика показывает, что наибольших успехов достигают те предприятия, которые в своей деятельности широко используют новые подходы в управлении. Один из наиболее привлекательных на сегодня инструментов управления всей деятельностью предприятия – это контроллинг, который базируется на конкретных условиях рынка, но в то же время позволяет учитывать его неопределенность, стихийный характер, быстрые изменения в ценообразовании и т. д. Контроллинг наряду с другими новейшими управленческими инструментами становится для менеджеров основной возможностью не только устоять в рыночных коллизиях, но и добиться ускоренного прогресса компании. В процессе использования в управлении контроллинга процедура принятия взвешенных управленческих решений в условиях тотального сокращения времени на их принятие и адаптацию к новым условиям, а также из-за ограниченности внутрихозяйственных возможностей для привлечения дополнительных ресурсов, становится все более привлекательной. Особенно важно это для предприятий с длительным циклом производства, требующих постоянных и больших финансовых вложений в силу специфики их деятельности. Нестабильность внешней среды, скорость реакции менеджеров на ее изменение, важность непрерывного мониторинга производства, смещение акцента с контроля прошлого на анализ будущего – вот основные причины внедрения элементов контроллинга как продуманной системы действий по обеспечению выживаемости предприятия и избеганию кризисных ситуаций. Контроллинг до сих пор остается наиболее перспективным направлением в разработке новых подходов к управлению предприятием, соединяющим теории принятия решений, информационного обеспечения и организационного моделирования [1].

Развитие инструментов контроллинга применительно к предприятиям РКП требует учета инновационного характера деятельности и, как следствие, – необходимости интеграции инструментов инновационного и стратегического менеджмента. В свою очередь, это предъявляет новые требования к принципам и методам формирования системы контроллинговых показателей, основанной на концепции сбалансированной системы показателей; в частности, требуется учет особенностей развития РКП при определении признаков сбалансированности, а также определения состава контроллинговых показателей.

Решение этих задач является следующим этапом исследований авторов.

Библиографические ссылки

1. Ерыгина Л. В. Контроллинг инновационной деятельности предприятий ракетно-космической промышленности: методология и инструментарий : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. С. 167.

2. Ерыгин Ю. В. Устойчивое инновационное развитие предприятий ОПК: концепция, принципы и методы планирования : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004. С. 216.

3. Багриновский К. А., Бендиков М. А., Хрусталев Е. Ю. Механизмы технологического развития экономики России: Макро- и мезоэкономические аспекты / Центр. экон.-мат. ин-т. М. : Наука, 2003. С. 376.

4. Медведчиков Д. А. Роль управления рисками космической деятельности на современном этапе реформирования отечественной ракетно-космической промышленности // Полет. 2003. № 12. С. 45–49.

5. Стратегия развития ракетно-космической промышленности на период до 2015 года [Электронный ресурс] / ТС-ВПК : информ. агентство. 2006. URL: http://www.vpk.ru/cgi-bin/cis/w3.cgi/CMS/Item/crt67509cf958f7da6f2d28bedb2848650211cc8f68f8c1620030efec501c7b3f51c4ad62dfca690500fccf5a63041d0ee1f81fc6e6170b30d5fc5569783c3d9a8438ddcd562f2edfdc2f635f650cc9fa1fe2a9471173bef62b6f5b1827e2a118f8cc4c0b19c5e65047593d2bc1802bdbcd147f4085a07f1f0a6005cbfb65ab90107273e9a57a18036605c9ad64a1971d7f29e9a57b (дата обращения: 22.07.2000).

Yu. V. Erygin, S. A. Maksimov, T. A. Sedneva, O. S. Stanishevskaya

CONTROLLING TOOLS VALUE FOR INNOVATIVE DEVELOPMENT MANAGEMENT AT ROCKET-AND-SPACE INDUSTRY ENTERPRISES

Status and tendencies of rocket-and-space industry development is considered. Characteristic properties of activity of rocket-and-space industry enterprises, which influence on innovative development are defined. Value of controlling and its tools for rocket-and-space industry enterprises innovative development management is designated.

Keywords: innovative development, controlling, rocket-and-space industry.

© Ерыгин Ю. В., Максимов С. А., Седнева Т. А., Станишевская О. С., 2010

УДК 338.012

Г. И. Поподько, Е. Н. Литвиненко

НЕОБХОДИМОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ КАК УСЛОВИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

Дан анализ состояния развития машиностроительного комплекса в России и Красноярском крае. Определена роль комплекса в становлении инновационной экономики. Проанализированы проблемы развития машиностроения в современных условиях. Определена необходимость модернизации отрасли как условие перевода экономики на инновационный путь развития.

Ключевые слова: машиностроительный комплекс, инновационное развитие, модернизация.

В Программе антикризисных мер Правительства РФ на 2009 г. определено: «Главная модернизационная задача правительства – смена сложившейся модели экономического роста. Вместо „нефтяного“ роста мы должны перейти к инновационному» [1].

Переход на инновационный путь развития напрямую связан с техническим совершенствованием материальной базы системообразующих отраслей экономики, переходом на новейшие технологии, использованием техники 5–6-го поколения.

Роль и значение машиностроительного комплекса в развитии экономики определяется тем, что это базовая отрасль, обеспечивающая технический уровень производства и обороноспособность страны, влияющая на важнейшие удельные показатели валового внутреннего продукта (материалоемкость, энергоемкость и т. д.) и производительность труда в отраслях народного хозяйства.

В его состав входит 7,5 тыс. крупных и средних предприятий и организаций, а также около 30 тыс. мелких, т. е. примерно 40 % от числа предприятий, состоящих на самостоятельном балансе в промышленности. Социальная значимость машиностроения определяется тем, что количество занятых работников в машиностроении на ноябрь 2009 г. составляет 2,77 млн человек, или более трети всех работающих в промышленности. Таким образом, степень подготовленности и уровень квалификации работников машиностроения во многом характеризует кадровый потенциал промышленности России.

Машиностроение занимает второе место (после топливной промышленности) по стоимости основных промышленно-производственных фондов крупных и средних промышленных предприятий. В структуре инвестиций в основной капитал по отраслям промышленности страны доля машиностроения составляет более трети и более 15 % – в структуре инвестиций по всем отраслям экономики.

Начиная с 90-х гг. прошлого столетия наблюдается заметный спад в развитии машиностроительного комплекса, обусловленный как изменением внутренней структуры производства, приведшей к падению спроса на продукцию машиностроения на внутреннем рынке, так и ориентацией на развитие сырьевых отраслей экономики за счет более благоприятной конъюнктуры цен на мировом рынке.

Наибольший спад объемов производства произошел в самых передовых отраслях машиностроительного комплекса, таких как станко-, авиа- и приборостроении, электронной и электротехнической промышленности и др.

Однако в последние годы наметилась тенденция увеличения доли машиностроительного производства в общем объеме промышленного производства страны (см. рисунок). Она составляет 20 % от общего объема промышленного производства, что, однако, в два раза меньше по сравнению с уровнем 1990 г.

В то же время доля продукции машиностроения и металлообработки в общем объеме выпуска промышленной продукции в экономически развитых странах (США, Германии, Японии) составляет от 36 до 45 %, что обеспечивает им возможность перевооружения своей промышленности каждые 7–10 лет (табл. 1) [2].

В настоящее время физический и моральный износ основных средств производства в машиностроении достиг критического уровня, значительно более высокого, чем в других отраслях промышленности (табл. 2).

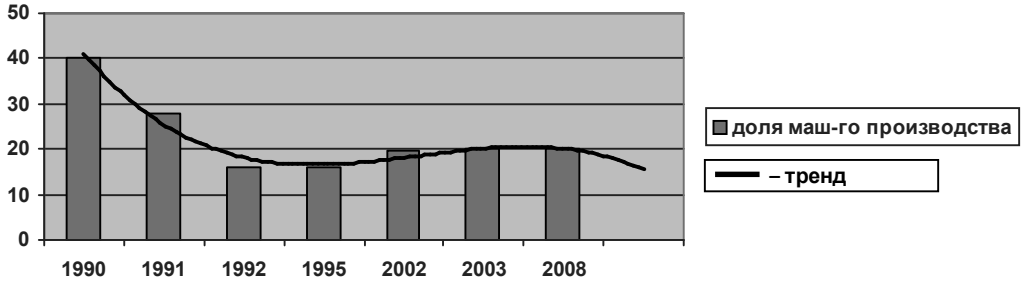
Выбытие основных фондов идет с темпом 1,5–2,5 % в год. Годовой темп обновления технологической базы заметно ниже потребности в замене оборудования, но в последние годы он заметно вырос и составляет 12–13 % в год (табл. 3).

В наиболее сложном положении оказалась важнейшая отрасль машиностроения – станкостроение, определяющая технологический уровень всего машиностроительного комплекса. Здесь потребность в обновлении станочного парка составляет 1,5–1,8 млрд долл.

Все это порождает порочный круг проблем машиностроения: изношенные фонды – низкое качество выпускаемой продукции – низкая конкурентоспособность – низкие объемы продаж – недостаточные обороты по финансам – нехватка денежных средств на обновление оборудования. И как следствие, отсутствие возможностей не только для инноваций, но и для сохранения темпов роста производства на достаточно высоком уровне.

К сожалению, приходиться констатировать, что в нынешнем состоянии предприятия российского машиностроения могут осуществлять производство конкурентоспособной продукции только для сравнительно узких сегментов рынка. По оценкам экспертов, на мировом рынке могут конкурировать в соответствующих сегментах не более 50 российских машиностроительных компаний [2].

Сегодняшнее состояние машиностроительного комплекса в значительной мере объясняется особенностями государственной политики. Перераспределение государственных бюджетных и инвестиционных средств в сырьевые отрасли экономики привело к тому, что темпы роста машиностроительного комплекса замедлились. И только



Динамика доли машиностроительного производства 1990–2008 гг.

Таблица 1

Доли машиностроения в выпуске промышленной продукции различных стран

Страна	Доля машиностроения, %	Страна	Доля машиностроения, %
Россия	20,0	Англия	39,6
Польша	27,8	Канада	40,5
Китай	35,2	США	46,0
Италия	36,4	Япония	51,5
Франция	39,3	Германия	53,6

Таблица 2

Степень износа основных фондов в организациях по видам экономической деятельности (на конец года, %)

Отрасли промышленности	2003	2004	2005	2006	2007
Добыча полезных ископаемых	50,9	51,4	51,7	51,0	49,7
Обрабатывающие производства:	46,4	45,6	44,1	43,1	41,7
химическое производство	52,9	51,1	50,5	46,9	43,7
металлургическое производство	45,2	45,8	45,0	41,7	40,8
производство машин и оборудования	48,9	47,0	46,9	44,9	41,8

сравнительно недавно государственная промышленная политика начала переходить на принципиально новые позиции: разработку стратегических и структурных преобразований как отдельных отраслей машиностроения, так и всего комплекса, что позволяет повысить его инвестиционную привлекательность для крупного российского бизнеса [3]. Об этом свидетельствует структура и динамика инвестиций в основной капитал (в том числе иностранных компаний) машиностроения и металлообработки (табл. 4).

В последние годы объемы инвестиций в основные фонды машиностроения и металлообработки имеют положительную динамику, но размер их является недостаточным. Для того чтобы создать промышленную базу, полностью обновляющуюся каждые 7–8 лет, необходимый объем инвестиций к ВВП должен быть не на уровне 20–22 %, как в настоящее время, а на уровне более 30 % ВВП.

Если говорить о рентабельности выпуска продукции машиностроения, то некоторые сферы либо балансировали на грани убыточности, либо показывали минусовые финансовые результаты (табл. 5).

Вместе с тем машиностроение располагает мощной производственной базой. Однако до тех пор пока у государства отсутствует возможность поддержки всех отраслей машиностроения, существует необходимость выделения наиболее приоритетных из них.

Сегодня имеются определенные перспективы и для развития внутреннего рынка товаров машиностроения. Предполагаемый только на ближайшую перспективу объем внутреннего рынка машиностроительной продукции (включая и оборонную промышленность), по оценкам специалистов, составляет в 30–40 млрд долл. и в дальнейшем, с развитием потребностей отраслей экономики, будет только возрастать. Это потребовало увеличения объемов производства в отрасли уже к 2010 г. в 3,3 раза, в том числе продукции инвестиционного машиностроения – в 4,4 раза. Российское машиностроение располагает значительным экспортным потенциалом (табл. 6). Несмотря на все экономические трудности и проблемы, оно по экспорту занимает в стране второе место после топливно-энергетического комплекса, что составляет в физическом объеме около 10–15 млрд долл. в год.

Состояние машиностроительного производства за 2009 г., его инновационные возможности можно охарактеризовать рядом показателей.

Так, в январе–декабре 2009 г. динамика производства машин и оборудования составила 71,6 % к январю–декабрю 2008 г., электрооборудования, электронного и оптического оборудования – 68,4 %, транспортных средств и оборудования – 62 %.

В январе–октябре 2009 г. сальдированный финансовый результат по машиностроительному комплексу со-

Таблица 3

Коэффициент обновления основных фондов в организациях по видам экономической деятельности, %

Отрасли промышленности	2003	2004	2005	2006	2007
Добыча полезных ископаемых	11,9	11,0	11,9	12,7	14,5
Обрабатывающие производства:	9,6	10,8	12,6	14,0	14,8
производство пищевых продуктов	17,2	12,9	15,9	15,2	18,8
химическое производство	7,1	7,9	9,6	15,6	15,4
металлургическое производство	7,8	11,2	12,6	16,6	14,7
производство машин и оборудования	6,6	7,8	9,8	11,7	13,4

Таблица 4

Структура и динамика инвестиций в основной капитал машиностроения и металлообработки

Годы	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Инвестиции в основной капитал в фактически действовавших ценах, млн руб. (1995 г. – млрд. руб.)									
Машиностроение	1,8	8,8	11,5	12,2	16,2	29,1	31,9	46,6	66,0
Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	7,0	35,9	49,0	47,2	62,3	100,9	137,2	174,4	217,0
Структура инвестиций в основной капитал									
Машиностроение	0,7	0,8	0,7	0,7	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9
Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	2,6	3,1	2,7	2,9	3,5	3,8	3,7	3,1	3,6

Таблица 5

Рентабельность проданных товаров и активов организаций машиностроения, %

Рентабельность	2003	2005	2007	2008
Проданных товаров, продукции (работ, услуг)	5,8	8,2	8,7	8,7
Активов	1,5	6,1	7,1	5,9

ставил минус 36 млрд руб. При этом в производстве машин и оборудования он составил плюс 19,5 млрд руб., производстве электрооборудования, электронного и оптического оборудования – плюс 13,8 млрд руб., в производстве транспортных средств и оборудования – минус 69,3 млрд руб.

Доля убыточных предприятий и организаций в суммарном количестве предприятий и организаций в январе–октябре 2009 г. в производстве машин и оборудования составила 37,5 % (20,5 % – в январе–октябре 2008 г.), производстве электрооборудования, электронного и оптического оборудования – 32,7 % (20,9 % – в январе–октябре 2008 г.), производстве транспортных средств и оборудования – 49,5 % (28 % – в январе–октябре 2008 г.).

Среднемесячная заработная плата (по полному кругу организаций) за январь–ноябрь 2009 г. в производстве машин и оборудования составила 16 570,1 руб. (101 % к соответствующему периоду 2008 г.), в производстве электрооборудования, электронного и оптического оборудования – 17 405 руб. (105 %), в производстве транспортных средств и оборудования – 17 088,2 руб. (99,5 %). Это соответствует среднеотраслевому уровню заработной платы, но значительно ниже уровня, достигнутого в сырьевых отраслях экономики (так, в добыче топливно-энергетических полезных ископаемых заработная плата составляет 39 051 рублей).

Все это свидетельствует о том, что необходима переориентация отечественного машиностроения на интенсивный, опережающий путь развития, что предполагает необходимость решения комплекса накопившихся взаимосвязанных и взаимообусловленных проблем в законодательной, нормативно-правовой, финансово-экономической, образовательной, кадровой и иных сферах. При этом фактор времени приобретает решающее значение, если учесть, что развитые страны перевооружают свою промышленность каждые 7–10 лет.

Очевидно, что выход из создавшегося в российском машиностроении системного кризиса возможен только при реализации системных подходов, эффективном использовании интеллектуального потенциала с мобилизацией всех необходимых и возможных ресурсов государства, всего потенциала развития [2].

Состояние развития машиностроительного комплекса в Красноярском крае повторяет ситуацию, которая сложилась в стране в целом. Однако несмотря на значимость развития отрасли для развития экономики региона, вклад ее в экономическое развитие – незначителен. Так, доля машиностроительного комплекса в общей структуре объемов производства продукции в крае составляет не более 10 % (табл. 7).

Продукция машиностроительного комплекса Красноярского края ориентирована в основном на внутренний рынок. Системный кризис отрасли, начавшийся в условиях либерализации рынка, привел к снижению конкурентоспособности большинства продукции машиностроительного комплекса на внутренних рынках и, как следствие, резкому падению спроса на продукцию отрасли. Экономический спад 2008–2009 гг. усугубил ситуацию.

Проблемы развития машиностроения в крае определяются финансовым состоянием предприятий машино-

Таблица 6

Динамика товарной структуры экспорта машиностроения РФ

Годы	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008
В фактически действовавших ценах, млрд долл. США								
Экспорт – всего	78,2	103	134	182	241	301	352	468
в том числе: машины, оборудование и транспортные средства	8,0	9,1	12,0	14,1	13,5	17,4	19,7	23,0
В % к итогу								
Экспорт – всего	100	100	100	100	100	100	100	100
в том числе: машины, оборудование и транспортные средства	10,2	8,8	9,0	7,8	5,6	5,8	5,6	4,9

Таблица 7

Структура объема отгруженных товаров собственного производства, % к итогу

Показатели	2004	2005	2006	2007	2008
Обрабатывающее производство, в том числе:	100	100	100	100	100
производство машин и оборудования;	5,0	4,6	4,0	5,4	6,9
производство транспортных средств и оборудования;	1,1	1,4	1,2	1,6	2,3
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	0,8	0,9	0,7	0,9	1,2

строительного комплекса. Оно в целом оценивается как неудовлетворительное (табл. 8).

Однако в последние годы наметилась тенденция улучшения финансового состояния предприятий машиностроительного комплекса и роста рентабельности производства.

Вместе с тем влияние отрасли на развитие экономики региона трудно переоценить. Именно машиностроение является базовой отраслью, которая определяет техническое перевооружение всех других отраслей производства. Специфической особенностью Красноярского края является заинтересованность сырьевых отраслей в продукции машиностроительного комплекса, которая выпускается на предприятиях региона. Это свидетельствует о том, что значительная часть производимой в крае продукции машиностроительного комплекса будет ориентирована на внутренний рынок.

Возрождение и дальнейшее развитие машиностроения является едва ли не главной задачей структурной перестройки экономики страны и отдельной территории. Повышение конкурентоспособности отечественной экономики зависит от технического уровня производства и доли продукции, ориентированной на конечное потребление. Эти задачи решает развитие машиностроительного комплекса.

Изменение ситуации в развитии машиностроения может быть достигнуто только за счет модернизации отрасли. Модернизация здесь понимается как «усовершенствование, улучшение, обновление, приведение в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества». В современных условиях можно говорить о трех видах модернизации – революционной, улучшающей и догоняющей.

В настоящее время проведение революционной модернизации невозможно по следующим причинам.

Во-первых, нет источника финансирования, необходимого для осуществления революционной модернизации.

Во-вторых, машиностроение не является приоритетным направлением развития для экономики страны.

В-третьих, техническое развитие большинства отраслей ориентировано на импорт высокотехнологичного оборудования.

Таким образом, выбор направления модернизации ограничен двумя ее видами: модернизации улучшающей или догоняющей.

Нередко высказывается мнение, что выходом из сложившейся ситуации может быть только догоняющая модернизация. Для реализации такого варианта развития необходима особая роль государства, которое берет на себя функцию выбора «ориентира» в развитии, который необходимо «копировать», а также консолидирует усилия на том, чтобы встроить отечественную экономику в систему международного разделения труда. Опыт такого развития существует и он достаточно успешен (Япония, Тайвань, Южная Корея и др.). Несмотря на отсталый во многом технологический уровень развития нашей экономики, в настоящее время отсутствуют все признаки догоняющей модернизации.

Учитывая опыт развития страны, который указывает на возможность обеспечения позиции лидерства во многих отраслях машиностроения на мировом уровне, по нашему мнению, можно говорить о том, что в настоящее время выбрано направление улучшающей модернизации. Для этого правительством страны сформирована концепция развития машиностроительного комплекса, распределение инвестиций ориентировано на развитие передовых отраслей отечественного машиностроительного комплекса.

Для реализации варианта улучшающей модернизации машиностроения важно определить не только особую роль государства, но и наметить участие малого и среднего бизнеса как стратегического резерва развития.

На начальном этапе модернизации предприятий машиностроительного комплекса необходимо решить следующие задачи:

– создать условия для технического перевооружения действующих предприятий и развития новых на основе использования передовых технологий;

– повысить кадровую обеспеченность отрасли за счет развития системы подготовки и повышения квалификации кадров для предприятий машиностроительного комплекса;

– обеспечить стратегический маркетинг машиностроительной продукции и создать новые рынки сбыта.

Для этого необходимо обозначить участие государства, которое играет важную роль в решении задач развития машиностроительного комплекса как страны в целом, так и отдельного региона. Государство должно, во-первых, определить развитие машиностроения как приоритетное, а во-вторых, разработать программу развития отрасли и обеспечить финансирование основных

Таблица 8

Финансовые показатели деятельности машиностроительного комплекса

Показатели	2004	2005	2006	2007	2008
Сальдированный финансовый результат, млн руб.:					
производство машин и оборудования;	106,5	–447,9	–636,3	58,3	1016,2
производство транспортных средств и оборудования;	–67	–78,5	185,3	163,3	135,1
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	107,8	210,1	106,4	283,3	738,7
Уровень рентабельности, %:					
производство машин и оборудования;	–	2,0	–0,2	3,2	8,0
производство транспортных средств и оборудования;	–	–0,9	8,9	7,4	6,5
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	–	10,6	8,7	10,1	7,9

инвестиционных проектов. Первостепенными мерами по улучшению ситуации в отрасли могут явиться следующие: введение моратория на 2–3 года на процесс банкротства предприятий машиностроительного комплекса; осуществление реструктуризации основной задолженности перед бюджетами с амнистией по пеням и штрафам; проведение реструктуризации основных фондов с консервацией временно не используемых мощностей и с освобождением от всех видов налогов на эти мощности; предоставление финансовой поддержки на расширение экспортных поставок и реализацию инвестиционных проектов; освобождение от всех видов налогов доли прибыли, направляемой на развитие и реконструкцию производства; финансирование приоритетных направлений развития машиностроительного комплекса.

Библиографические ссылки

1. Программа антикризисных мер Правительства Российской Федерации на 2009 г. [Электронный ресурс] : 20 марта 2009 г. // КонсультантПлюс. 2009. URL: http://www.consultant.ru/ (дата обращения: 11.06.2010).

2. Концепция формирования Государственной комплексной программы развития машиностроения России на период до 2010 г. [Электронный ресурс] : принята 25.06.2008 г. // Союз производителей нефтегазового оборудования : сайт. 2008. URL: http://www.derrik.ru/?f=n&id=1442 (дата обращения: 11.06.2010).

3. Сорокин Н. Т. Проблемы и тенденции развития российского машиностроения // Автомобильная промышленность. 2005. № 1. С. 2–4.

G. I. Popodko, E. N. Litvinenko

THE NEED FOR ENGINEERING MODERNIZATION AS A CONDITION FOR INNOVATIVE DEVELOPMENT OF ECONOMY

The article analyzes state of development in engineering industry in Russia and in Krasnoyarsk region. Role of the industry in the formation of innovative economy is determined. Analysis of engineering problems in modern conditions is given. The need for industry modernization, as a condition of transition of the economy to an innovative way of development, is determined in the article.

Keywords: machine-building complex, innovative development, modernization.

© Поподько Г. И., Литвиненко Е. Н., 2010

УДК 001.895: 330

О. Н. Владимирова

СТРАТИФИКАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Исследуются факторы, влияющие на развитие регионов. Рассматриваются существующие в научной литературе подходы к стратификации по критериям инновационности.

Ключевые слова: территории инновационного развития, типизация регионов, инновационное развитие, стратификация.

В современных условиях инновационный путь развития признается в качестве приоритетного направления вывода экономики из кризисного состояния и способа повышения ее эффективности. Процессы глобализации и интеграции свидетельствуют о необходимости акцентирования внимания на территориях, имеющих высокий инновационный потенциал. В связи с этим представляется актуальным рассмотрение существующих теоретических подходов к стратификации таких образований.

Вопросам стратификации территорий инновационного развития посвящено значительное количество публикаций. Видится целесообразным обзор их содержания в такой последовательности: определение факторов типизации территорий инновационного развития, рассмотрение стратификационных группировок и анализ их адаптации в современных условиях. В качестве базиса исследований используем российскую практику.

В ряде трудов специалистов-регионалистов указывается, что в России пространственная организация оказалась неэффективной и привела к росту расходов на поддержание инфраструктурного хозяйства и другим негативным последствиям.

Определяя специфику экономического, правового и этнополитического пространства Российской Федерации, А. Г. Гранберг выделяет следующие группы особенностей, ее формирующих:

– существенные различия природно-климатических условий определяют неравномерность в наличии полезных ископаемых и других ресурсов;

– базовым принципом размещения производительных сил, осуществлявшихся в советский период, было формирование экономики страны как «единой фабрики», в рамках которой хозяйственные комплексы республик и регионов рассматривались как своеобразные «цеха», цель которых заключалась в удовлетворении нужд народного хозяйства страны, и только после – проживающего здесь населения;

– высокая дифференциация уровней социально-экономического развития субъектов Федерации приводит к тому, что отдельные показатели могут различаться в десятки раз;

– формирование РСФСР осуществлялось по национально-территориальному принципу, т. е. не было связано с экономическим потенциалом субъектов;

– национальная политика России (как и в советский период) характеризуется подменой национального интереса всех граждан механической суммой интересов отдельных этнических сообществ;

– для территориальных сообществ также характерна качественная разница представлений о базовых ценностях и о приемлемости различных механизмов социально-экономических преобразований;

– наличие различных представлений о предпочтительной форме национально-государственного устройства влечет за собой различную меру ответственности государства, регионов за решение социально-экономических проблем [1, с. 15–20].

На наш взгляд, в современных условиях указанный перечень должен быть дополнен такими факторами, как наличие отраслей с высоким уровнем развития, направление политики государства и воздействие международной среды. Именно взаимодействие совокупности внешних и внутренних параметров может влиять в настоящее время на формирование территорий инновационного развития.

Возникновение теоретических начал вопросов стратификации относят к сороковым годам прошлого столетия. Определение в качестве основного критерия стратификации (в данной статье стратификация трактуется и воспринимается с позиций инновационной деятельности) различных факторов обусловливает многообразие подходов.

В исследованиях В. Л. Бабурина проведена типизация регионов России и ближнего зарубежья по степени развития инновационного потенциала и масштабам инновационной деятельности. По соотношению креативной и акцепторной составляющих были рассчитаны соотношения инновационной производительности регионов СССР (числа патентов на 100 тыс. человек городского населения) и уровня их инновационного потребления (отношения доли внедренных патентов к числу произведенных), или индекс креативности. В результате были выделены следующие группы регионов.

1. Креативные регионы (использующие изобретений намного меньше, чем создают, при их плотности существенно выше среднесоюзной). К числу таких регионов относились Московский столичный, Санкт-Петербург.

2. Субкреативные (использующие изобретений намного меньше, чем потребляют (при плотности иннноваций выше средней). К их числу относились ряд районов Волжско-Камского междуречья, Урало-Поволжский регион, Ростовская область, Новосибирско-Омский ареал.

3. Акцепторно-креативные (с генерацией нововведений выше среднесоюзной, но высокой долей использованных изобретений, превышающей 100 %). В России к ним относились индустриально-аграрные районы: Алтайский и Краснодарский края, Белгородская и Воронежская области, Чувашия и Марий-Эл.

4. Сильные акцепторы (с относительно низкой генерацией нововведений, но очень высокой долей использованных изобретений, превышающей 100 %). Прежде всего это пристоличные области (Ленинградская), а также районы хозяйственного освоения: Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий округа, южные регионы Дальнего Востока, Астраханская, Оренбургская и другие области.

5. Слабые акцепторы (с низкой генерацией нововведений и долей использованных изобретений выше среднесоюзного, но не превышающей 100 %). В этой группе широко представлены наиболее освоенные восточные районы, а также области и республики периферии Европейской России.

6. Инновационная периферия (с крайне низкими показателями как плотности изобретений, так и их использования). В эту группу вошли преимущественно периферийные территории СССР (подавляющее большинство автономных округов, республик Сибири, Дальнего Востока и Северного Кавказа России), внутренние районы Закавказья, отдельные «медвежьи углы» Европейской России (Тамбовская, Костромская, Новгородская области) [2, с. 85–89].

В работах Н. И. Марковой стратификация регионов по инновационной деятельности, проводимая как формальными методами дисперсионного анализа, так и с помощью экспертных оценок, позволяет с достаточной степенью обоснованности выделить только одну группу, включающую одиннадцать субъектов Федерации, располагающих достаточно развитым инновационным потенциалом и возможностями активизации его использования (Москва и Санкт-Петербург, Московская, Самарская, Нижегородская, Калужская, Свердловская, Новосибирская, Томская, Челябинская и Воронежская области). Инновационный потенциал этих регионов определяется в первую очередь их высоким научным потенциалом. Это не только регионы с высоким уровнем социально-экономического развития, но и исторически сложившиеся научные центры страны. Их роль в инновационном процессе – быть донорами инноваций, прежде всего в сфере высоких технологий.

По мнению Н. В. Бекетова, в научной литературе выделяют два типа территориальных инновационно-технологических формирований. Часть из них – районы с естественной (эволюционной) концентрацией отраслей высоких технологий (так называемые технологические регионы). Их главной отличительной чертой можно считать отсутствие специального планирующего и координирующего начала в период возникновения. Остальные формирования – это специально созданные центры тех-

нологического развития (научные, технологические, исследовательские парки, «инкубаторы бизнеса», инновационные центры и пр.) [3, с. 30–35].

Обобщая опыт формирования в России территорий инновационного развития текущего столетия, Е. А. Лурье выделяет 19 их типов. В качестве определяющих признаков в данной стратификации выступают следующие: административный ресурс; менталитет общества (уровень восприимчивости нововведений, готовность к инновационным преобразованиям, освоению особой инновационной культуры); наличие разработанных документов, регулирующих инновационную деятельность (прогноза, концепции, стратегии, программы); привлечение научно-образовательного комплекса; оценка влияния создаваемой инновационной системы на основные показатели развития региона [4, с. 32–35].

В базовом докладе к обзору ОЭСР национальной инновационной системы Российской Федерации «Национальная инновационная система и государственная инновационная политика Российской Федерации» проведена типизация регионов в зависимости от индекса инновационности. На основании косвенных статистических показателей рассматриваются составляющие инновационного процесса. Соответственно значениям индекса инновационности выделяются регионы – лидеры по научно-технологическому потенциалу; регионы – лидеры по реализации и продвижению научных разработок в конечный бизнес-продукт; регионы, ориентированные на заимствование технологий. В качестве составляющих используются результаты анализа регионов Российской Федерации с точки зрения наличия человеческого потенциала для ведения инновационной деятельности, распространения новых знаний, а также для вывода инновационной продукции на рынок.

Индекс инновационности в условиях становления инновационной системы России фиксирует скорее стартовую позицию регионов с точки зрения наличия у них некоторых качеств, необходимых для создания инноваций. Индекс в большей степени характеризует готовность или способность регионов к инновациям, нежели действительный инновационный процесс. К достоинствам предложенного индекса можно отнести комплексность использованных для его расчета показателей, охватывающих – насколько это позволяет современная официальная российская статистика – основные этапы или элементы инновационного процесса. Недостатком данного инструмента является то, что он не позволяет оценить качество и интенсивность взаимодействия между составляющими инновационной цепочки.

В соответствии с рассмотренным подходом регионы Российской Федерации подразделяют на 6 условных групп [5, с. 166–168].

Первая группа («столицы») лидирует по всем показателям. Она концентрирует высококвалифицированные человеческие ресурсы и наиболее успешно реализует рыночный этап инноваций. Яркими представителями первой группы являются Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан.

Вторая группа, которую можно условно назвать «потенциальные инновационные лидеры», или «регионы, готовые к инновациям», в наибольшей степени (после «столиц») является ведущей по рыночной составляющей (соответствует уровню «столиц»), отставая по характеристикам человеческого потенциала. В регионах второй группы используется наибольшее число передовых технологий, производится наибольший объем инновационной продукции. Это Саратовская и Нижегородская области.

В третьей группе собраны регионы, в итоговом индексе которых наибольшим весом обладают подындексы человеческих ресурсов. По ним они незначительно уступают группе потенциальных инновационных лидеров. Однако «рыночные» подындексы, в особенности индекс «выхода на рынок», существенно отстают. Это можно объяснить неэффективным использованием достаточно качественных человеческих ресурсов, отсутствием устойчивых связей между наукой и производством или несоответствием научной и производственной баз региона. Третью группу можно охарактеризовать как регионы с нереализованным интеллектуальным потенциалом. Субъектами названной группы являются Томская, Новосибирская, Омская области, Приморский край.

Четвертая группа является очень однородной по индексам «рынка» и «человеческого потенциала», при этом в большинстве ее регионов существуют крупные города, или они расположены рядом с Москвой; следовательно, в данных регионах есть источники человеческих ресурсов для создания новых знаний. Четвертая группа уступает третьей группе по индексу «создания новых знаний», но по рыночным индексам находится с ней на одном уровне. Таким образом, регионы четвертой группы можно охарактеризовать как крупные производственные центры, опирающиеся на трансфер технологий, с инновационным потенциалом среднего уровня, так как в них производится достаточно большой объем продукции с использованием передовых технологий, однако нет должного числа специалистов для создания новых знаний. Данную группу представляют Красноярский край, Кемеровская область, Оренбургская область.

В пятой группе собраны регионы, которые на данный момент не относятся к числу лидеров ни по одному из показателей, а система образования и производственная база не позволяют им переместиться на следующий уровень. Представителями пятой группы выступают Читинская область, Республика Бурятия, Архангельская, Курганская, Читинская области.

Наконец, в последней, шестой группе оказались регионы-аутсайдеры по всем показателям. Это Республика Алтай, Республика Тыва, Республика Хакассия, Ханты-Мансийский АО.

В ряде официальных законодательных актов также отражены попытки стратификации регионов с точки зрения возможности формирования условий для инновационных преобразований. В частности, в Программе Правительства РФ «Реформы и развитие российской экономики в 1995–1997 гг.» выделялись следующие группы регионов: отстающие, депрессивные, кризисные, а также регионы особого стратегического значения.

В проекте стратегии социально-экономического развития Сибири при рассмотрении Сибирского Федерального округа по структуре экономики, специфике и тем-

пам социально-экономического развития выделяется три группы регионов:

– освоенные районы ресурсодобывающей направленности с очаговым характером расселения, относительно высоким уровнем развития промышленности и ее ресурсных отраслей, имеющие ярко выраженную специализацию (Кемеровская, Томская, Иркутская области, Красноярский край, Республика Хакасия); здесь формируются основные источники бюджетной системы РФ;

– регионы с относительно высокой плотностью населения, вполне диверсифицированной экономикой и сравнительно высоким уровнем развития инфраструктуры и освоенности территорий (Новосибирская и Омская области); здесь сосредоточен основной научно-образовательный и аграрный потенциал, перерабатывающий сектор промышленности Сибири;

– территории с низким уровнем социально-экономического развития (Республика Алтай, Алтайский край, Республика Бурятия, Республика Тыва, Читинская область) [6, с. 18].

На основании статистических данных [7] нами проведены расчеты, результаты которых, на наш взгляд, отражают основные критерии стратификации регионов Сибири (см. таблицу).

Соотнесение масштабов, форм и инструментов региональной политики со спецификой и нуждами различных типов регионов, а также с ее долговременными ориентациями, указывает А. Г. Гранберг, возможно лишь при типизации уровней социально-экономического развития субъектов федерации. В России данная типология не проводится [1, с. 21].

Ряд ученых считают, что важное значение при изучении экономики регионов имеют проявления так называемого феномена ресурсного проклятия, когда страны, обладающие богатыми природными ресурсами, демонстрируют более низкие темпы развития, чем не имеющие этих ресурсов. Тем не менее, как показывают анализ и оценки экспертов, линейной зависимости между объемом и видами ресурсов и темпами экономического развития не существует [8, с. 106].

Рассмотрение вышеприведенных подходов позволяет сделать следующие выводы:

– на данный момент времени нет единого подхода к выбору критериев. Каждый взятый в основу признак позволяет отражать специфику рассматриваемых образований;

– существует достаточно большое количество параметров, применяемых в качестве критерия стратификационного признака;

– наложение полученных результатов стратификаций позволяет определить совпадение отдельных групп, включающих, как правило, одинаковый перечень регионов, что дает возможность сделать допущение о наличии некоторой закономерности, проявляющейся при группировке по инновационности.

Авторская позиция в данном вопросе основывается на использовании в качестве приоритета фактора инновационной восприимчивости, который, по нашему мнению, комплексно учитывает и экономические, и социальные, и мотивационные составляющие. (Более подробно подход изложен в других публикациях автора.)

Библиографический список

1. Движение регионов России к инновационной экономике / под ред. А. Г. Гранберга, С. Д. Валентея ; Ин-т экономики РАН. М. : Наука, 2006.

2. Бабурин В. Л. Инновационные циклы в российской экономике. М. : Эдиториал УРСС. 2002.

3. Бекетов Н. В. Методологические проблемы формирования и развития научно-инновационных систем регионов. М. : Akademia, 1999.

4. Лурье Е. А. Территории инновационного развития: опыт регионов // Инновации. 2009. № 2. С. 31–44.

5. Национальная инновационная система и государственная инновационная политика Российской Федерации : базовый докл. к обзору ОЭСР нац. инновац. системы Рос. Федерации [Электронный ресурс] // М-во образования и науки Рос. Федерации : сайт. 2009. URL: http://www. mon.gov.ru/press/news/6333/ (дата обращения: 23.07.2010).

Основные показатели развития регионов СФО в 2007 г.

Регион	Численность, тыс. чел.	Душевой ВРП, тыс. руб./чел.	Инвестиции, тыс. руб./чел.	Среднемесячный доход, тыс. руб./чел.	Бюджетная обеспеченность, тыс. руб./чел.
Республика Алтай	207	74,26	27,908	6,934	43,76
Республика Бурятия	960	114,126	21,495	8,892	29,01
Республика Тыва	312	63,68	6,814	5,817	31,85
Республика Хакасия	537	119,2	31,034	7,982	22,27
Алтайский край	2 508	88,935	16,964	7,438	н/д
Красноярский край	2 890	253,94	40,82	12,654	41,77
Иркутская область	2 508	160,522	48,769	10,078	27,55
Кемеровская область	2 823	157,297	38,085	11,700	29,98
Новосибирская область	2 636	144,86	32,306	10,317	25,86
Омская область	2 018	149,2	32,367	11,318	26,93
Томская область	1 035	208,94	61,973	11,890	30,26
Читинская область	1 119	101,05	30,365	8,212	н/д

6. Стратегия социально-экономического развития Сибири до 2020 года [Электронный ресурс] // Сиб. федер. округ : сайт. 2010. URL: http://www.sibfo.ru/.../strdoc.php?action=art&nart=81 (дата обращения: 22.07.2010).

7. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2008 : стат. сб. / Росстат. М., 2008.

8. Копеин В. В., Филимонова Е. А. Структурные преобразования экономики региона и его финансовая безопасность (на примере Кемеровской области) / отв. ред В. В. Михайлов. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008.

O. N. Vladimirova

STRATIFICATION OF INNOVATIVE DEVELOPMENT TERRITORIES: THEORETICAL APPROACHES

The article investigates the factors which have an effect on development of regions. The author considers approaches to stratification of territories according to criteria of innovativeness, existing in the scientific literature.

Keywords: territories of innovative development, type assignment of regions, innovative development, stratification.

© Владимирова О. Н., 2010

УДК 330.341.1

Г. Е. Баженов, О. А. Кислицына

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ – ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрены методы оценки финансовой устойчивости, выявлены факторы, влияющие на устойчивое развитие предприятия, предложены общие и частные показатели оценки инновационного потенциала предприятия, выявлены причины, сдерживающие развитие и внедрение инноваций.

Ключевые слова: инновация, инновационный потенциал, устойчивость, развитие, равновесие, стационарный режим.

В современных условиях выход предприятий на устойчивое развитие возможен только с переходом к инновационной модели экономики. Инновационный процесс становится важнейшим фактором экономического развития предприятия, и его роль стремительно возрастает. Используя инновации, предприятие сможет обеспечить конкурентоспособность своей продукции и достойное место на рынке. Ориентация на инновационное развитие предприятия требует формирования эффективного механизма выявления и использования инноваций.

При изучении устойчивого развития предприятия возникает проблема осмысления этого процесса. Обычно под устойчивостью понимается стабильность, являющаяся одним из основных понятий кибернетики и тесно связанная с идеей инвариантности, т. е. неизменности свойств системы относительно каких-либо преобразований.

По определению Л. Н. Лопатникова, «устойчивость системы есть способность динамической системы сохранять движение по намеченной траектории, поддерживать намеченный режим функционирования, несмотря на воздействующие на нее возмущения» [1].

Понятия устойчивости и неустойчивости Н. В. Шаланов формулирует так: «Система называется неустойчивой, если малые изменения параметров приводят к резким изменениям траектории процесса. Система является устойчивой, если малое изменение исходных параметров не приводит к резким изменениям траектории» [2].

Еще одно определение устойчивости дается в «Энциклопедии кибернетики»: «Устойчивость – это свойство системы возвращаться в исходный или близкий к нему установившийся режим из различных начальных состояний» [3].

Основными элементами устойчивости являются равновесие, гомеостаз, стационарный режим.

Равновесие – взаимное погашение разнонаправленных сил, при котором свойства системы остаются неизменными.

Гомеостаз – неизменность существенных параметров системы независимо от влияния внешней среды.

Стационарный режим – циклическое повторение одной и той же последовательности состояний.

Устойчивое развитие предприятия обычно ассоциируется с его экономическим состоянием. Такой подход, по нашему мнению, является односторонним, поскольку не принимает во внимание производственно-технический потенциал предприятия.

К понятию устойчивости развития предприятия следует применять комплексный подход, который учитывал

бы все стороны его производственно-хозяйственной деятельности. На устойчивое развитие предприятия оказывают влияние как внешние, так и внутренние факторы, воздействующие на функционирование предприятия.

К внешним факторам относятся:

– промышленная политика государства;

– конкуренция на товарном рынке;

– информационная среда;

– развитие системы производственного кооперирования;

– правовое обеспечение бизнеса;

– инвестиционно-инновационный климат;

– доступ к ресурсам;

– сбытовая политика;

– бюджетно-финансовая поддержка.

К внутренним факторам относятся:

– финансовые показатели;

– состояние техники;

– состояние технологии;

– кадровый потенциал;

– уровень организации производства и управления;

– уровень развития инновационного потенциала.

Устойчивость функционирования предприятия заключается в его способности адаптироваться к изменениям внешних и внутренних факторов и противостоять этим изменениям, обеспечивая стабильное развитие предприятия в соответствии с поставленными целями.

Проблема устойчивого развития предприятия стала особенно актуальной в связи с глубоким экономическим кризисом, который охватил всю социально-экономическую систему. В экономической литературе по степени финансовой устойчивости предприятия делят на четыре типа [4]:

1. Абсолютно устойчивые предприятия, при условии

$$З < СОС + К,$$

где З – производственные запасы; СОС – собственные оборотные средства; К – краткосрочные кредиты банка.

2. Предприятия нормальной устойчивости, при условии

$$З = СОС + К.$$

3. Предприятия с неустойчивым финансовым состоянием, при условии

$$З = СОС + К + Н,$$

где Н – источники, ослабляющие финансовую напряженность (временно свободные собственные средства и прочие привлеченные средства).

4. Предприятия, находящиеся в кризисном состоянии, когда

$$З > СОС + К.$$

Данные показатели дают общее представление о том, в каком положении находится предприятие.

Для более точной оценки состояния предприятия следует рассчитать следующие показатели:

– коэффициент автономии ($К_а > 0,5$);

– коэффициент ликвидности (быстрый от 0,8 до 1; абсолютной > 0,2);

– коэффициент маневренности ($К_м \geq 0,5$);

– коэффициент обеспечения собственными оборотными средствами ($К_о \geq 0,1$);

– коэффициент финансирования ($К_ф \geq 1$);

– уровень рентабельности (выше уровня инфляции на 15–20 %).

Оценка финансового состояния предприятия по вышеприведенным показателям должна осуществляться постоянно не реже 2 раз в год.

Безусловно, финансовое состояние предприятия имеет решающее значение для стратегического устойчивого развития предприятия.

Превышение пороговых значений вышеназванных индикаторов влечет за собой нарушение нормального функционирования предприятия и приводит к негативным результатам производственно-хозяйственной деятельности. По нашему мнению, для обеспечения экономически устойчивого развития предприятия должны формировать инновационный потенциал и поддерживать его на высоком уровне.

Анализ толкований инновационного потенциала предприятия выявил, что по сути инновационный потенциал прежде всего есть характеристика ресурсной базы. В словаре С. И. Ожегова слово «потенциал» имеет двойное смысловое содержание: первое – это физическая характеристика – величина, характеризующая запас (ресурсы), второе – степень мощности (скрытых возможностей) в каком-либо отношении (для какой-либо цели) [5]. Именно второе значение слова «потенциал» предполагает рассматривать в качестве инновационного потенциала предприятия не просто само наличие ресурсов, а именно возможность использования имеющихся ресурсов в соответствии с целью развития. Данное положение дало основание расширить понятие инновационного потенциала: «инновационный потенциал организации – это мера ее готовности выполнять задачи, обеспечивающие достижение поставленной инновационной цели».

Инновационный потенциал предприятия определяет возможности и глубину инновационных преобразований. В зависимости от его величины и качественного состояния определяется охват тех или иных стадий инновационного цикла.

Проведенное нами исследование выявило, что официальной статистикой не отражаются показатели, с помощью которых можно было бы проводить анализ состояния инновационного потенциала отдельных хозяйствующих субъектов.

Чтобы провести оценку состояния инновационного потенциала предприятия в соответствии с диагностическим подходом, основные требования к формированию системы показателей, характеризующих данное состояние, на наш взгляд, должны быть следующими.

Во-первых, система показателей должна учитывать отраслевые особенности протекания инновационных процессов (наукоемкость технологических процессов), характеристики производственной системы (уровень трудоемкости производства), тип производства (массовый, крупносерийный, мелкосерийный, единичный), стадию развития организации (рост, зрелость, спад).

Во-вторых, в системе должны быть показатели, отражающие наличие и качество основных стратегически важных для предприятия ресурсов, задействованных в инновационной деятельности предприятия, т. е. отражать со-

стояние воспроизводственной составляющей инновационного потенциала.

В-третьих, в системе должны быть показатели, прямо или косвенно указывающие на результативность использования имеющихся ресурсов предприятия, задействованных в инновационной деятельности, т. е. отражать состояние производственной составляющей инновационного потенциала.

Как показало исследование, чаще всего при характеристике инновационного потенциала используют следующие группы показателей:

– показатели кадров, задействованных в инновационных проектах: количество и квалификация специалистов; количество и качество подготовки специалистов;

– материально-технические показатели: расходы на научные, научно-технические исследования, опытно-конструкторские работы, коммерциализацию новшеств; прогрессивность производственной базы;

– информационные показатели: количество и качество используемых в инновационной деятельности информационных фондов, возможности и качество распространения информации, удовлетворенность специалистов информацией;

– результирующие показатели инновационной деятельности, характеризующие ее целесообразность.

В качестве основного количественного параметра инновационного потенциала на практике рассматривается величина денежных средств, затраченных на осуществление инновационной деятельности. Однако сами по себе затраты на нововведения еще не свидетельствуют о величине инновационного потенциала, поскольку можно расходовать большие средства, но взамен получать малосущественные результаты.

Нами выделены основные группы показателей, отражающие состояние инновационного потенциала предприятия по качественному и количественному составу основных видов ресурсов, используемых в инновационной деятельности, и по результативности их использования на этапах разработки, производства и реализации инновационной продукции (см. таблицу).

Такое разделение показателей на группы, на наш взгляд, позволит наглядно обосновать решения по стратегическому развитию инновационного потенциала, поскольку большинство стратегических решений по инновационному развитию организации принимается именно в отношении повышения эффективности использования данных видов ресурсов предприятия, направляемых на реализацию инновационной деятельности.

Из-за недостаточности аналитической и статистической информации в сфере инновационной деятельности предприятий региона нами было проведено собственное исследование данной области деятельности промышленных предприятий города Новосибирска. Объектом исследования стали восемь предприятий машиностроения.

В исследовании использовались методы анкетного опроса и интервьюирования. Респондентами являлись руководители высшего и среднего управленческого звена предприятий, квалифицированные специалисты, хорошо знающие производственную деятельность, кадровую и инвестиционную политику предприятия.

Анализируя полученные данные о видах инновационной деятельности, имеющих место на обследованных предприятиях в период с 2002 по 2009 г., можно сделать вывод, что на момент проведения исследования все обследуемые предприятия являлись инновационно активными, поскольку все они проводили разного рода инновационные преобразования.

На всех обследованных предприятиях имели место процессы усовершенствования как продукции, так и технологий. Это говорит о том, что имеющиеся ресурсы предприятия направляли главным образом на модернизацию и усовершенствование ранее разработанной продукции, поскольку данные виды инновационной деятельности, как правило, не требует значительных материальных и временных затрат. Однако обновление или улучшение параметров устаревшей в своей основе техники или технологии не дает существенного экономического эффекта в долгосрочной перспективе, более того, закрепляет технологическое отставание. Фундаментальные и прикладные исследования, являющиеся базой научно-технических разработок, на большей части обследованных предприятий не проводились.

Любые инновационные изменения в процессах и продукции, как правило, сопровождаются использованием новых механизмов и форм планирования, управления и контроля, что объясняет присутствие на всех предприятиях организационных нововведений.

Направления инновационной деятельности любого предприятия являются исходной точкой формирования инновационных стратегий. В ходе исследования был определен стратегический аспект инновационной деятельности. Полученные распределения свидетельствуют о явном преобладании инновационной составляющей в рыночной и продуктовой стратегии предприятий. При этом данные стратегии обусловливают и дополняют друг друга. Обращает на себя внимание тот факт, что значительная часть респондентов на первое место по степени важности целей предприятия ставит завоевание новых географических рынков, что означает ориентацию предприятий на активную рыночную стратегию.

Инновационная составляющая продуктовой стратегии большинства предприятий нацелена на расширение ассортимента, замену устаревшей продукции, улучшение качества существующих товаров. Данный факт говорит о существовании конкуренции на рынках машиностроения, и освоение предприятиями продуктовых инноваций вызвано стремлением сохранить свои рыночные позиции. Однако конкурируя как с отечественными, так и с иностранными компаниями, все чаще представляющими свою продукцию на российском рынке, предприятие, вносящее лишь незначительные инновационные изменения в продукцию, не сможет существенно повысить свою конкурентоспособность.

По совокупной оценке важности целей инновационной деятельности, несколько ниже инновационная составляющая технологических стратегий. Внедрение инноваций с целью снижения потребления электроэнергии, сырья и материалов, снижения процента брака, уменьшения длительности производственного цикла менее трети респондентов считают очень важным.

Обращает на себя внимание тот факт, что в целях инновационной деятельности обследованных предприятий не находит должного отражения проблема снижения нагрузки на окружающую среду. Только половина респондентов присвоила данной цели второй ранг важности, а около 14 % внедрение экологически щадящих технологий считают на данном этапе совсем не важным. Причин, объясняющих этот факт, достаточно много: начиная с несовершенства экологического законодательства и отсутствия жесткого механизма контроля над выбросами вредных веществ и заканчивая невозмутимостью общественного мнения по данной проблеме.

Последнее место по совокупной оценке важности целей инновационной деятельности занимают социальные инновации.

Для разработки и создания инноваций обследуемыми предприятиями используются как собственные подразделения и отделы, так и внешние источники. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что обследованные предприятия не используют в полной мере результаты исследований, проводимых сторонними организациями, что зачастую приводит к субъективной оценке внешней среды, не позволяет учитывать потребности и отслеживать изменения в инновационной деятельности конкурентов, контрагентов и других деятелей рынка. Можно сделать предположение, что именно фактор ограниченного взаимодействия со специализированными структурами (и как следствие, отсутствие полноценной объективной информации о рынке) является одной из важных причин незначительности инновационных изменений в продуктах и техпроцессах, отсутствия инновационных преобразований, способствующих разработке новой уникальной продукции, которая стала бы основой для создания ключевых компетенций.

Низкая активность предприятий в реализации инновационных разработок внешних источников является, главным образом, следствием слабой развитости рыночной инфраструктуры и инфраструктуры трансфера технологий, а также определяется особенностями национальной научной, инновационной и технологической политики. Слабая взаимосвязь промышленных предприятий с различными секторами науки и институциональными структурами инновационной сферы свидетельствует об ориентации подавляющего большинства обследованных предприятий на собственные исследования и разработки.

Однако для внутрифирменной науки характерна низкая квалификация персонала и недостаточная обеспеченность научным оборудованием, что в конечном счете приводит к низкому уровню проводимых исследований. Проявляя большее внимание к научным разработкам отраслевых НИИ и вузов, предприятия смогли бы «компенсировать» недостаток квалифицированных кадров, повысив в целом собственный инновационный потенциал.

В ходе исследования респондентам был задан ряд вопросов, касающихся управления и мотивации персонала в инновационной деятельности. Полученные оценки, на наш взгляд, представляются несколько завышенными, поскольку в анализе факторов, сдерживающих инновационную деятельность предприятий, только около половины руководителей поставили на первые три места (по степени важности) недостаточную квалификацию и мо-

Частные показатели инновационного потенциала промышленного предприятия

№	Наименование показателей
1	Затратные показатели
1.1	Удельный вес на НИОКР в суммарных затратах на производство.
1.2	Удельный вес на приобретение лицензий в суммарных затратах на производство
2	Кадровые показатели
2.1	Удельный вес персонала, задействованного в инновационных проектах, в общей численности промышленно-производственного персонала предприятия.
2.2	Удельный вес специалистов, задействованных в инновационных проектах, в общей численности специалистов на предприятии.
2.3	Средний возраст специалистов, задействованных в инновационных проектах
2.4	Квалификационный уровень специалистов, занятых в инновационных проектах
3	Показатели технического уровня производственного оборудования
3.1	Доля автоматического и полуавтоматического оборудования в общем количестве оборудования.
3.2	Удельный вес оборудования со сроком эксплуатации до 5 лет
4	Показатели нематериальных активов
4.1	Удельный вес нематериальных активов в общей стоимости основных фондов.
4.2	Удельный вес собственных нематериальных активов в стоимости нематериальных активов
5	Показатели продолжительности создания и внедрения нововведений
5.1	Инновационные проекты со сроком создания и внедрения до 1 года.
5.2	Инновационные проекты со сроком создания и внедрения до 3 лет.
5.3	Инновационные проекты со сроком создания и внедрения до 5 лет.
5.4	Средняя продолжительность внедрения новшеств
6	Показатели обновляемости продукции
6.1	Удельный вес принципиально новой продукции в общем объеме реализованной продукции.
6.2	Удельный вес усовершенствованной продукции в общем объеме реализованной продукции
7	Показатели результативности нововведений
7.1	Удельный вес прибыли, полученной от внедрения новшеств в общей прибыли предприятия
7.2	Эффективность нововведений как отношение прибыли от реализации нововведений к затратам на их разработку и внедрение.
7.3	Доля рынка, занимаемая нововведениями предприятия по аналогичным видам продукции

тивацию персонала. Таким образом, данное противоречие, на наш взгляд, свидетельствует о неэффективном управлении персоналом, принимающим участие в инновационной деятельности, и недооценке важности кадровой составляющей как фактора, оказывающего решающее влияние на эффективность инновационной деятельности предприятия.

Недооценка человеческого фактора в сфере инноваций характерна для большинства российских предприятий. Однако при всей оснащенности и широте присутствия компании на рынке, ее успех зависит главным образом от человеческого фактора и наличия интеллектуальных ресурсов.

Полученные данные свидетельствуют о малой численности персонала, занимающегося исследованиями и разработками, в сравнении с общей численностью персонала предприятий. На семи из восьми обследованных предприятий численность работников превышает 500 человек, при этом только на трех из них инновационными разработками занято более 21 человека. Процессы сокращения кадровой составляющей инновационного потенциала производственных предприятий снижают их инновационные возможности и создают предпосылки спада инновационной активности.

Анализируя ответы руководителей на вопрос о факторах, сдерживающих инновационную деятельность на обследованных предприятиях, можно отметить, что при реализации инновационной деятельности предприятия сталкиваются с отсутствием в необходимом объеме информации о новейших технологиях и разработках и с недостаточной готовностью к сотрудничеству в данной области фирм-компаньонов. Эти факты свидетельствуют о неразвитости инфраструктуры передачи технологий, разрозненности отраслевой и внутрифирменной науки.

Кроме того, на обследованных предприятиях осуществление инноваций в разной степени затруднено из-за таких проблем, как недостаточная мотивация персонала и недостаток кадров требуемой квалификации, а также несовершенство законодательной базы в области инноваций. Названные проблемы косвенно свидетельствуют о намерении предприятий проводить глубокие инновационные преобразования. К тому же такой фактор, как длительный период окупаемости нововведений, для большинства предприятий не имеет решающего значения: данному фактору большинством респондентов присвоена вторая и третья степень важности.

Основной причиной неглубоких инновационных преобразований в технологических процессах и продукции, фактором, сдерживающим инновационную деятельность предприятий, большинство руководителей считает недостаток финансирования этой сферы деятельности. На наш взгляд, столь высокая оценка данного фактора в большей степени отражает нехватку собственных средств предприятий, поскольку другие источники финансирования инновационных процессов предприятиями используются значительно реже. В структуре источников финансирования инновационной деятельности преобладают собственные средства предприятий. Низкий показатель использования банковских кредитов обусловлен высокой стоимостью заемных средств. Кроме того, банковской системе в условиях нестабильности невыгодны долгосрочные кредиты. Большинство предприятий не используют в качестве источников финансирования инновационной деятельности средства частных лиц и организаций, которые не являются заказчиками, а также средства фондов. Это можно объяснить в первую очередь отсутствием льготной системы налогообложения и кредитования сферы инноваций. Кроме того, не предпринимается эффективных мер по стимулированию инвесторов, осуществляющих вложения в наукоемкие производства, и мер по поддержке их заинтересованности в долгосрочных инновационных процессах.

В структуре финансирования инновационной деятельности обследованных предприятий незначительную долю имеют государственные дотации, а на большинстве предприятий никогда не используют данный источник финансирования инновационной деятельности. Финансирование НИОКР и инновационных проектов из бюджетных средств занимает центральное место в системе прямого государственного регулирования инновационной сферы. Государственная финансовая поддержка субъектов хозяйствования осуществляется в соответствии с государственной инновационной политикой по приоритетным направлениям научно-технического развития, освоения конкурентоспособных технологий и производства. В условиях рыночной экономики наиболее эффективное размещение бюджетных средств, предоставляемых организациям любых форм собственности для реализации инновационных проектов, осуществляется через федеральные фонды посредством конкурсного отбора и, как правило, на возвратной основе.

С другой стороны, нельзя не отметить, что и самими предприятиями не прилагается достаточных усилий для придания инвестиционной привлекательности инновационным проектам. Это предположение подтверждается тем фактом, что каждое второе предприятие привлекает внешних консультантов для составления и продвижения инвестиционных проектов, не полагаясь на собственных специалистов, которые в большинстве своем не владеют достаточными знаниями, квалификацией и опытом бизнес-планирования, оценки рисков, прогнозирования и управления инвестиционными проектами.

Анализ перечисленных проблем позволяет сделать вывод об отсутствии на обследованных предприятиях эффективных методов и форм управления инновационными ресурсами в стратегических целях развития. Для реформирования внутрифирменной политики в сфере инноваций, а также разработки и реализации инновационных стратегий предприятиям необходима комплексная оценка собственных инновационных возможностей и систематический анализ внешней среды.

Библиографические ссылки

1. Лопатников Л. И. Экономико-математический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Дело, 2003.

2. Шаланов Н. В. Методология системного анализа устойчивости случайного процесса // Вестн. Сиб. ун-та потребит. кооперации. Вып. 2. Новосибирск, 2004.

3. Глушков В. М. Энциклопедия кибернетики. Киев : Гл. ред. Укр. Сов. энцикл., 1974. Т. 2.

4. Шеремет А. Д., Сайфулин Р. С. Методика финансового анализа. М. : Инфра-М, 1996.

5. Ожегов С. И. Словарь русского языка. 24-е изд., исправл. М. : Оникс, 2008.

G. E. Bazhenov, O. A. Kislitsyna

INNOVATION CAPACITY – THE BASIS OF SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT OF AN ENTERPRISE

The article examines approaches to evaluation of financial stability, indentifies factors affecting sustainable development of an enterprise. General and special rates for estimation of innovation capacity are worked out. Factors restraining development and implementation of innovations are determined.

Keywords: innovation, innovation capacity, stability, development, balance.

© Баженов Г. Е., Кислицына О. А., 2010

УДК 519.8

А. Н. Антамошкин, Т. Е. Балобан

СПЕЦИФИКА ОЦЕНКИ РИСКОВ ИННОВАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Представлены особенности реализации инноваций на предприятиях оборонно-промышленного комплекса (ОПК), предложен метод идентификации рисков инновационной деятельности.

Ключевые слова: инновационная деятельность предприятий ОПК, риски инноваций, типология инноваций.

В силу исторического развития российской экономики, основу инновационного потенциала страны составляют предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Современное экономическое состояние ОПК России характеризуется затянувшейся реформой. В литературе встречаются различные рекомендации предприятиям отрасли [1–3]. Они мало чем отличаются от программ прошлого века и включают в себя следующие меры:

– увеличение выпуска технически сложной, наукоемкой гражданской продукции с применением имеющихся и освоением новых технологий для внутреннего рынка и на экспорт;

– освоение производства ресурсов (материалов и комплектующих) с целью ликвидации зависимости от импорта и снижения себестоимости готовых изделий;

– создание элементов, приборов, комплектующих для производства технически сложной продукции в кооперации с зарубежными партнерами;

– предоставление услуг по ремонту и послепродажному обслуживанию продукции;

– оказание наукоемких услуг.

Несмотря на имеющиеся сложности, ОПК пока является единственной производственной системой, способной решать многие технологические задачи на уровне современных требований. В настоящее время на долю ОПК приходится более 70 % всей производимой в стране научной продукции, в оборонных отраслях занято свыше 50 % всех научных сотрудников, что при определенных условиях и прежде всего при достаточной инновационной восприимчивости ОПК способно играть важную роль в обеспечении нового качества и темпов развития отрасли.

В современных условиях деятельность предприятий ОПК сопряжена с реализацией инновационных проектов. Это обусловлено, с одной стороны, необходимостью повышения эффективности использования производственных мощностей в связи со значительным сокращением государственного оборонного заказа, а с другой стороны – высоким уровнем инновационного потенциала предприятий ОПК.

Оборонно-промышленный комплекс изначально был направлен на выпуск инновационной продукции. Однако реформирование ОПК привело к непрекращающемуся снижению инновационной активности предприятий, ориентированных на выполнение государственного оборонного заказа. Предприятия оборонной промышленности, как носители инновационных идей и основные создатели инновационной продукции и технологий, оказались охваченными экономическим кризисом в большей степени, чем предприятия других отраслей, что обусловлено целым рядом специфических особенностей.

Как отмечает Б. Н. Кузык, следующие экономические особенности функционирования отличают предприятия и организации ОПК от традиционных товаропроизводителей, действующих в рыночной среде [4]:

– особые требования к качеству производимой продукции, которые могут как существенно превосходить тре-

бования стандартов, определяющих качество гражданской продукции, так и значительно уступать им (например, по расчетному времени эксплуатации);

– монополия заказчика, обусловленная преобладанием государственного заказа над инициативными работами предприятий ОПК;

– наукоемкость и высокотехнологичность разработки и производства подавляющего большинства продукции;

– долгосрочность и капиталоемкость инвестиционных проектов, реализуемых предприятиями ОПК;

– наличие избыточных (мобилизационных) мощностей;

– высокий уровень специализации и монополизации производителей, обусловливающий как правило затратный способ формирования цен на производимую продукцию;

– меньшая, по сравнению с гражданским производством, скорость обновления образцов выпускаемой продукции, не связанная с необходимостью удовлетворения потребностей рынка;

– особые информационные условия функционирования предприятий, обусловленные требованиями секретности, ограничивающие кооперацию и передачу технологий.

Кроме изначальной направленности предприятий ОПК на выпуск инновационной продукции, их инновационная деятельность имеет существенное преимущество по сравнению с остальными товаропроизводителями: у предприятий ОПК есть возможность реализовывать все стадии инновационного процесса от фундаментальных исследований до промышленного освоения.

Очевидно, что инновационная деятельность предприятий ОПК, так же, как и любых других, связана с рисками инноваций. Как и большинство исследователей, здесь под риском мы понимаем две величины – это вероятность отрицательного результата (ущерба) и величину этого ущерба. Однако перечисленные выше особенности предприятий ОПК не позволяют применять для управления рисками их инновационной деятельности стандартные подходы риск-менеджмента. Прежде всего это касается этапа идентификации факторов рисков инноваций, предшествующему этапу их последующей численной оценки. Обычно [5] методики оценки и анализа рисков инвестиционной деятельности предприятий предполагают наличие четырех этапов. Первый – формирование рабочей группы экспертов из специалистов предприятия, которые будут участвовать в оценке рисков. На втором этапе эксперты распределяют риски по группам рисков, определяют долю группы рисков по отдельным видам рисков, после чего приступают к численной оценке. Третий и четвертый этап – это обработка полученной информации и анализ результатов.

Специфика оценки рисков инноваций на предприятиях ОПК – возможность реализации всех стадий инновационного процесса – касается второго этапа приведенной методики.

Проведение идентификации факторов риска требует предварительного построения типологии инноваций, осуществляемых на предприятиях ОПК. Типологий инноваций предлагается достаточно много, но для целей определения факторов риска инноваций предприятий ОПК будут существенны следующие классификационные признаки.

1. Доля инновационного проекта в общих финансовых результатах деятельности предприятия. Использование данного признака позволяет не рассматривать риски инноваций, доля которых в общем финансовом результате незначительна.

2. Радикальная или улучшающая инновация. По данному признаку мы можем определить, проведение каких стадий инновационного процесса необходимо для реализации планируемой инновации.

3. Направленность инновации: сырьевая, продуктовая, рыночная, технологическая, управленческая. Как правило, радикальные продуктовые инновации, предусматривающие проведение всех стадий инновационного процесса, связаны с основным производством. Но эти же инновации обычно связаны и с конверсионными инновациями – выпуском продукции гражданского назначения, продвижением ее на рынке и т. д. И в этом случае конверсионные инновации уже не будут требовать проведения фундаментальных и прикладных исследований (а возможно, и НИР) тем самым уменьшая риск основной инновации за счет уменьшения величины возможного ущерба от отрицательного результата при реализации основной инновации.

Предполагая, что имеется пять групп факторов риска: производственные, кадровые, рыночные, финансовые, материально-технического снабжения и пять стадий инновационного процесса: фундаментальные исследования, прикладные исследования, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, опытное производство и промышленное освоение, строится матрица, форма которой представлена ниже:

Факторы риска	Этапы инновационного процесса				
	Фундаментальные исследования	Прикладные исследования	НИР и ОКР	Опытное производство	Промышленное освоение
Производственные					
Кадровые					
Рыночные					
Финансовые					
Материально-технического снабжения					

Для каждого предполагаемого к реализации инновационного проекта эксперты заполняют клетки таблицы по имеющимся, по их мнению, факторам риска. Очевидно, что только для единичных проектов все клетки таблицы окажутся заполненными. Например, как уже упоминалось, у улучшающих инноваций могут быть заполнены клетки только последних двух столбцов (и не обязательно все).

Имея факторы, определяющие риски инноваций по каждой позиции таблицы, эксперты приступают к чис-

ленной оценке рисков, причем целесообразно использовать более информативные интервальные оценки [6].

Таким образом, спецификой конверсионных предприятий ОПК, которую необходимо учитывать при оценке рисков их инновационной деятельности, является возможность проведения всех этапов инновационного процесса и возможность снижения ущерба от отрицательного результата при реализации радикальных инноваций, связанных с основной продукцией, за счет успешной реализации улучшающих конверсионных инноваций. Учет этих особенностей позволяет получить более адекватные оценки рисков инновационной деятельности предприятий ОПК.

Библиографические ссылки

1. Алтаев М. Х., Астапов К. Л. Развитие оборонно-промышленного комплекса: законодательство и реалии [Электронный ресурс]. URL: http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/VestnikSF/2005/vestniksf254-02/vestniksf254-02010.htm (дата обращения: 13.04.2010).

2. Везиров В., Лисов О. Создание интегрированных структур // Экспорт вооружений. 2005. № 5. С. 23.

3. Михайлов Н. Оборонно-промышленный комплекс и инновационная политика : доклад [Электронный ресурс] // Стратегия России. 28 марта 2006. URL: http://www.kreml.org/media/114061386?user_session=dedce22d07a7cfe0f51ca45c626 (дата обращения: 19.04.2010).

4. Кузык Б. Оборонно-промышленный комплекс России: Прорыв в XXI в. / Рус. биограф. ин-т. М., 1999.

5. Потапкина М. А., Чанчиков А. С. Эффективная система управления рисками как показатель успешной деятельности компании // Проблемы соврем. экономики. 2008. № 1. С. 429–430.

6. Антамошкин А. Н., Антамошкина Е. А. Интервальная оценка риска портфеля инновационных проектов // Вестник СибГАУ. 2009. № 2. С. 392–394.

A. N. Antamoshkin, T. E. Baloban

SPECIFIC CHARACTER OF INNOVATIONS RISKS ESTIMATION ON ENTERPRISES OF DEFENSE INDUSTRY COMPLEX

Peculiar properties of implementation of innovations at defense-industry complex enterprises are presented, the method for identification of innovative activity risks is suggested.

Keywords: defense-industry complex enterprises, innovative activity, innovation risks, typology of innovations.

© Антамошкин А. Н., Балобан Т. Е., 2010

УДК 658.5

Е. А. Жирнова, Я. И. Шамлицкий, А. А. Снежко

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Предлагается методика оценки результативности системы менеджмента качества, формулируются наиболее важные критерии ее оценки на примере ОАО «КЗХ «Бирюса».

Ключевые слова: результативность системы менеджмента качества.

Система менеджмента качества (СМК) регламентирует работу подразделений предприятия по установлению, обеспечению и поддержанию качества продукции на стадиях проектирования, разработки, реализации и обслуживания с целью постоянного улучшения результативности и эффективности деятельности организации. Необходимым условием функционирования и улучшения СМК является оценка ее результативности. В зависимости от области применения оценка включает такие виды деятельности, как аудит (проверку), анализ СМК и также самооценку организации (см. рисунок).

Анализ СМК проводится с целью обеспечения ее постоянной пригодности, достаточности и результативности и включает оценку возможностей улучшения и оценку потребностей в изменениях, в том числе в политике и целях в области качества.

Анализ и оценка результативности СМК осуществляется на основе данных мониторинга продукции и процессов, внутренних аудитов, оценки удовлетворенности потребителей, корректирующих и предупреждающих действий, а также с учетом предложений работников, руководителей процессов. Здесь очень важен выбор наиболее «проблемных» с точки зрения качества процессов, их ранжирование по степени «весомости» для деятельности организации и принятие решения о выполнении организационно-технических мероприятий, выделении средств для улучшения тех или иных процессов. Именно поэтому возникает необхо-

димость разработки методики оценки результативности СМК.

Для оценки результативности СМК выделены три основных критерия достижения цели:

1. Улучшение результативности функционирования СМК.

2. Соответствие СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 [1] и внутренней документации.

3. Повышение удовлетворенности потребителя.

Каждый критерий содержит по два подкритерия, в свою очередь включающих перечень вопросов, ответы на которые отражают выполнение запланированных показателей (табл. 1).

Оценивать результативность СМК удобнее в баллах, по каждому критерию достижения цели. Предлагается проводить оценку по 100-балльной шкале. Каждому критерию экспертным методом присваивается коэффициент весомости. При расстановке коэффициентов весомости считается, что сумма коэффициентов всех критериев равна 100 %. Коэффициент весомости, установленный для каждого критерия, разбивается на коэффициенты весомости подкритериев. Наибольший коэффициент весомости соответствует критериям «улучшение результативности функционирования СМК» и «повышение удовлетворенности потребителя», так как деятельность любой организации должна быть направлена прежде всего на обеспечение качества продукции.

В соответствии с разработанной методикой, ответы на вопросы по первым двум критериям определяются путем проведения проверок, а оценка по третьему подкритерию производится специалистами отдела маркетинга путем анкетирования, а также специалистами отдела сервисного обслуживания путем анализа данных о возврате продукции по гарантии.

Используются три степени оценки:

– результат достигнут, ставится 100 %;

– результат достигнут частично. Если более 50 % мероприятий по достижению результата выполнено, то ставится 50 %, но если мероприятий выполнено менее 50 %, то ставится 0 %;

– результат не достигнут, ставится 0 %.

Далее определяют балл результативности СМК по каждому подкритерию, а затем общий балл результативности по формуле

$$Б = \sum B_j \cdot П_j / 100\ \%,$$

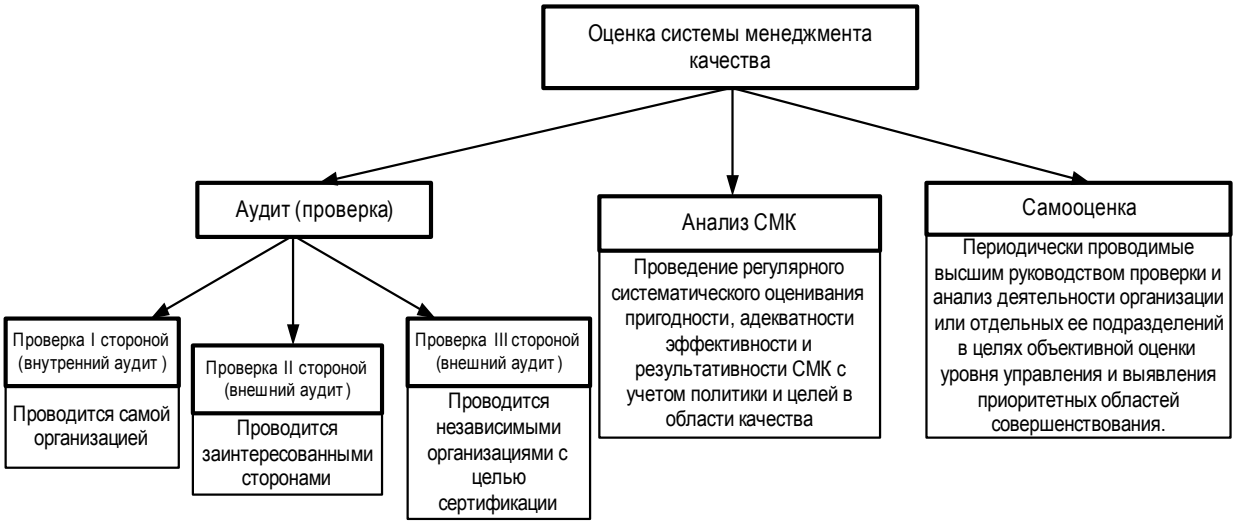
где B_j – коэффициент весомости подкритерия; $П_j$ – процент достижения результата согласно подкритерию.

Общий балл результативности определяет уровень функционирования СМК (табл. 2).

В соответствии с разработанной методикой на ОАО «КЗХ «Бирюса» была проведена оценка результативности СМК (табл. 3).

При проведении оценки результативности СМК выявлен ряд несоответствий. Так, например, по критерию «улучшение результативность функционирования СМК» степень результативности составила 27,5 баллов (15 + 12,5), что не в полном объеме удовлетворяет плановому значению. При этом по подкритерию «планирование мероприятий по улучшению качества» результат достигнут на 100 %, так как в проверяемом подразделении цели определены, регулярно проводятся совещания по качеству и планируются показатели качества выпускаемой продукции, а по подкритерию «выполнение запланированных корректирующих мероприятий по улучшению качества» результат оценен лишь в 50 %, так как в ходе проверки было выявлено, что показатели качества выпускаемой продукции не соответствуют установленным, мероприятия выполняются с опозданием, а предпринятые корректирующие и предупреждающие действия не являются результативными.

Результативность СМК по критерию «соответствие процесса требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 и внутренней документации» оценена в 12,5 баллов (5 + 7,5), что ниже запланированного значения. Документация СМК отвечает требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2008, а цели подразделений – политике в области качества; следовательно, СМК удовлетворяет требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2008 на 100 %. Квалификация персонала организации, проектирование и разработка, а также процедура «управление несоответствующей продукцией» соответствует требованиям нормативно-технической документации, чего не скажешь об управлении документацией и записями; следовательно, согласно подкритерию «соответ-



Виды оценки результативности системы менеджмента качества

Таблица 1

Оценка результативности системы менеджмента качества

№	Подкритерии оценивания	№	Вопросы для оценивания	Соответствие результата подкритерию оценивания	Оценка соответствия результата подкритерию, %
1.1	Планирование мероприятий по улучшению качества	1	Определены ли цели подразделений?	соответствует	100
		2	Проводятся ли совещания по качеству на различных уровнях?	соответствует	
		3	Планируются ли показатели качества выпускаемой продукции?	соответствует	
1.2	Выполнение намеченных и корректирующих мероприятий по улучшению качества	1	Выполняются ли установленные показатели качества выпускаемой продукции?	не соответствует	50
		2	Какие действия предпринимаются руководством цеха по предупреждению и повторному возникновению брака?	соответствует	
		3	Своевременно ли выполняются запланированные мероприятия?	не соответствует	
		4	Какова результативность предпринятых корректирующих/предупреждающих действий?	не соответствует	
		5	Какие действия выполняет рабочий при обнаружении дефекта на своем рабочем месте?	соответствует	
		6	Кем контролируется проведение корректирующих мероприятий?	соответствует	
2.1	Степень соответствия СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2008	1	Соответствуют ли документы СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2008?	соответствует	100
		2	Соответствуют ли цели подразделений политике в области качества?	соответствует	
2.2	Степень соответствия СМК требованиям внутренней документации	1	Соответствует ли управление документацией требованиям СТП СК 222-4005–2002?	не соответствует	50
		2	Соответствует ли управление записями требованиям СТП СК 222-4016–2002?	не соответствует	
		3	Соответствует ли квалификации персонала подразделения, занимающегося вопросами СМК, требуемой?	соответствует	
		4	Соответствует ли проектирование и разработка требованиям СТП СК 222-4004–2002?	соответствует	
			Соответствует ли процедура управления несоответствующей продукцией требованиям СТП СК 222-4013–2002?	соответствует	
3.1	Степень удовлетворенности требований потребителей на основании анкетирования	1	Считаете ли вы надежным холодильное оборудование марки «Бирюса»?	не соответствует	50
		2	Удовлетворены ли вы ценой холодильного оборудования марки «Бирюса»?	соответствует	
		3	Считаете ли вы престижным приобретение холодильного оборудования марки «Бирюса»?	не соответствует	
		4	Устраивает ли вас ассортимент холодильного оборудования марки «Бирюса»?	соответствует	
		5	Удобно ли в пользовании холодильное оборудование марки «Бирюса»?	соответствует	
		6	Устраивает ли вас внешний дизайн холодильного оборудования марки «Бирюса»?	не соответствует	
		7	Устраивает ли вас внутренний дизайн холодильного оборудования марки «Бирюса»?	не соответствует	
		8	Экономно ли расходуется электричество холодильным оборудованием марки «Бирюса»?	соответствует	
		9	Устраивает ли вас температурный режим холодильного оборудования марки «Бирюса»?	соответствует	
		10	Устраивает ли вас техническое обслуживание холодильного оборудования марки «Бирюса»?	не соответствует	
3.2	Степень удовлетворенности требованиям потребителей на основании возврата продукции по гарантии	1	Имелись ли претензии по работе электрооборудования?	не соответствует	50
		2	Проявлялись ли дефекты компрессора?	не соответствует	
		3	Наблюдалась ли утечка фреона?	соответствует	
		4	Имели ли место дефекты в корпусных деталях?	соответствует	
		5	Имелись ли несоответствия по химическому составу реагентов?	соответствует	

ствие системы менеджмента качества требованиям внутренней документации» результат достигнут лишь на 50 %.

Результат согласно критерию «удовлетворенность потребителя» соответствует плановому значению на 50 %, и результативность составила 20 баллов (5 + 15). В ходе анкетирования было выявлено, что конечные потребители не удовлетворены внешним и внутренним дизайном, а также техническим обслуживанием холодильного оборудования марки «Бирюса». Они не считают холодильное оборудование марки «Бирюса» надежным, а его приобретение престижным. Отделом сервисного обслуживания были проведены гарантийные ремонты по дефектам компрессоров и электрооборудования.

Оценка результативности СМК по разработанной методике показала, что общий балл результативности равен 60. Из этого следует, что СМК функционирует допустимо (см. табл. 2), но требования ГОСТ Р ИСО 9001–2008 выполняются не в полном объеме. Результаты анализа показали, что результативность СМК, в частности, способность улучшать текущую деятельность и удовлетворять требования конечного потребителя, должна быть повышена. На основе полученных результатов разработаны планы организационно-технических мероприятий.

Проведя оценку результативности СМК по разработанной методике, можно не только определить состояние функционирования СМК, но и, пользуясь установленными критериями, увидеть проблемные области. Применяя данный метод, высшее руководство предприятия сможет быстро направить свои действия на планирование улучшения деятельности предприятия. Предложенная методика оценки охватывает важнейшие стороны деятельности предприятия, оказывающие влияние на результативность СМК, обеспечивает разработку, принятие и реализацию лучших решений. Применение данной методики позволит предприятию при хорошем функционировании СМК значительно сократить долю затрат на качество продукции и содержание предприятия, что приведет к определенному экономическому эффекту.

Библиографическая ссылка

1. ГОСТ Р ИСО 9000–2008. Система менеджмента качества. Требования. М. : Изд-во стандартов, 2005.

Таблица 2

Определение уровня функционирования системы менеджмента качества

Общий балл результативности	Оценка уровня функционирования
91–100	Очень хорошо
71–90	Хорошо
51–70	Допустимо
Менее 50	Плохо

Таблица 3

Оценка результативности системы менеджмента качества на ОАО «КЗХ «Бирюса»

№	Критерии оценивания	Весомость критерия	№	Подкритерии оценивания	Весомость подкритерия	Соответствие результата подкритерию, %	Степень результативности, баллы
1	Улучшение результативности функционирования СМК	0,4	1.1	Планирование мероприятий по улучшению качества	0,375	100	15
			1.2	Выполнение намеченных и корректирующих мероприятий по улучшению качества	0,625	50	12,5
2	Соответствие СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 и внутренней документации	0,2	2.1	Степень соответствия СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2008	0,25	100	5
			2.2	Степень соответствия СМК требованиям внутренней документации	0,75	50	7,5
3	Повышение удовлетворенности потребителя	0,4	3.1	Степень удовлетворенности требований потребителей на основании анкетирования	0,25	50	5
			3.2	Степень удовлетворенности требований потребителей на основании возврата продукции по гарантии	0,75	50	15
Общий балл результативности СМК							60

E. A. Zhirnova, Ya. I. Shamlitskiy, A. A. Snezhko

EVALUATION OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEM EFFECTIVENESS AT MACHINE-BUILDING BRANCH ENTERPRISE

The article suggests technique for evaluation of effectiveness of quality management system and presents the most important criterions of its evaluation by the example of Krasnoyarsk Refrigerators Factory JSC „Biryusa“.

Keywords: effectiveness of quality management system.

© Жирнова Е. А., Шамлицкий Я. И., Снежко А. А., 2010

УДК 330.322.2

Ю. А. Чайран, А. А. Лукьянова

ФОРМИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены составляющие инвестиционной привлекательности, подходы к ее оценке. Приводятся предложения в виде ряда мероприятий, позволяющих повысить инвестиционную привлекательность предприятий.

Ключевые слова: инвесторы, инвестиционная привлекательность, факторы инвестиционной привлекательности, подходы к оценке инвестиционной привлекательности, мероприятия для повышения инвестиционной привлекательности предприятий.

В современных условиях для осуществления эффективной деятельности организаций особо актуальной является проблема мобилизации и эффективного использования инвестиций.

Стимулирование инвестиционной деятельности, выработка четкой стратегии инвестирования, определение ее приоритетных направлений, мобилизация всех источников инвестиций является важнейшим условием устойчивого и качественного развития предприятий.

Важнейшие стимулы финансирования инвестиционной деятельности – обеспечение государством гарантий прав инвесторов, защиты инвестиций и предоставление субъектам инвестиционной деятельности налоговых и таможенных льгот.

В России действуют следующие основные нормативно-правовые акты, регулирующие отношения в сфере инвестиций:

– Федеральный закон от 25 февраля 1999 г. № 39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» (ред. от 24.07.2007);

– Закон РСФСР от 26 июня 1991 г. № 1488-1 «Об инвестиционной деятельности в РСФСР» (ред. от 30.12.2008);

– Федеральный закон от 9 июля 1999 г. № 160-ФЗ «Об иностранных инвестициях в Российской Федерации» (ред. от 29.04.2008);

– Федеральный закон от 5 марта 1999 г. № 46-ФЗ «О защите прав и законных интересов инвесторов на рынке ценных бумаг» (ред. от 19.07.2009);

– Федеральный закон от 29 октября 1998 г. № 164-ФЗ «О финансовой аренде (лизинге)» (ред. от 26.07.2006);

– Федеральный закон от 22 апреля 1996 г. № 39-ФЗ «О рынке ценных бумаг» (ред. от 27.12.2009);

– Указы Президента РФ, которые также определяют правовое поле финансирования инвестиций;

– Постановления Правительства РФ, которые регулируют инвестиционные процессы.

Но, к сожалению, правовая система РФ не совершенна. Различные правовые нормы, регулирующие одни и те же отношения, часто противоречат друг другу, отсутствует четкая иерархия нормативно-правовых актов. В итоге планирование инвестиционной деятельности затрудняется, поскольку последствия конкретных решений и связанные с этим расходы становятся непредсказуемыми.

В связи с мировым экономическим кризисом большинство российских предприятий столкнулись с рядом проблем, которые также ограничивают приток инвестиций для эффективного осуществления их деятельности. К факторам, сдерживающим инвестиционную активность российской экономики, можно отнести следующие:

– относительно высокий уровень инфляции;

– достаточно высокий уровень налогов;

– неполное финансирование государственных инвестиционных программ;

– низкую эффективность инвестиционных вложений;

– недостаток собственных средств у организаций для обновления основного капитала и трудности в получении коммерческих кредитов из-за неустойчивости их финансового положения и высоких процентных ставок кредита;

– высокий инвестиционный риск;

– малочисленность первоклассных заемщиков;

– низкое качество предлагаемых инвестиционных проектов;

– нестабильность российского рынка;

– крайне сложное текущее состояние предприятий, в подавляющей массе находящихся в тяжелом финансовом

положении, неспособность управленцев предприятий четко продемонстрировать свои потенциальные возможности и показать инвестору, в результате каких действий будет обеспечено преодоление кризисного состояния и достигнут рост доходов.

Нехватка собственных средств для финансирования инвестиционной деятельности предприятия все чаще подталкивает российские компании к привлечению капитала из внешних источников.

В настоящее время существуют следующие основные виды финансирования предприятия из внешних источников: инвестирование в акционерный капитал, предоставление заемных средств.

Инвестирование в акционерный капитал компании (прямое инвестирование). Основными формами привлечения инвестиций в акционерный капитал являются стратегическое инвестирование и инвестиции финансовых инвесторов.

Стратегическое инвестирование – это приобретение инвестором крупного (вплоть до контрольного) пакета акций компании. Как правило, конечной стадией стратегического инвестирования является приобретение компании либо слияние ее с компанией-инвестором.

В качестве стратегических инвесторов обычно выступают крупные объединения предприятий и предприятия – лидеры отрасли. Основной целью стратегического инвестора является получение доступа к новым ресурсам и технологиям и повышение эффективности собственного бизнеса.

Инвестиции финансовых инвесторов – это приобретение внешним профессиональным инвестором (группой инвесторов), как правило, блокирующего, но не контрольного пакета акций компании в обмен на инвестиции с последующей продажей данного пакета через 3–5 лет (в основном это венчурные и паевые фонды) либо размещение акций компании на рынке ценных бумаг среди широкого круга инвесторов (это могут быть компании любого направления деятельности или физические лица). Инвестор в данном случае получает основной доход за счет продажи своего пакета акций (т. е. за счет выхода из бизнеса) [1].

Исходя из этого, привлечение инвестиций финансовых инвесторов целесообразно для развития предприятия: роста объемов продаж, модернизации или расширения производства, повышения эффективности деятельности, в результате чего будет расти стоимость компании и, соответственно, вложенный инвестором капитал.

Осуществление инвестирования в форме предоставления заемных средств. Основные инструменты – кредиты (банковские, торговые), облигационные займы, лизинговые схемы. Целью инвестора при данной форме финансирования является получение процентного дохода на вложенный капитал при заданном уровне риска, поэтому данную группу инвесторов интересует дальнейшее развитие предприятия с точки зрения его возможности исполнить обязательства по выплате процентов и возврату основной суммы долга.

Необходимость привлечения ресурсов для обеспечения процесса развития и возникновение сильной конкуренции со стороны предприятий за возможность получения инвестиционных ресурсов обязывает предприятие-реципиент быть инвестиционно-привлекательным для инвестора.

Именно по этой причине на первый план выходит понятие инвестиционной привлекательности – основного индикатора возможности предприятия заинтересовать потенциального инвестора.

Более точно экономическая сущность инвестиционной привлекательности дается в определении Л. Валинуровой и О. Казаковой. Они понимают под этим термином совокупность объективных признаков, свойств, средств и возможностей, обусловливающих потенциальный платежеспособный спрос на инвестиции [2]. Такое определение шире и позволяет учесть интересы любого участника инвестиционного процесса.

Существуют иные точки зрения (в том числе Л. Гиляровской, В. Власовой и Э. Крылова и других). Эти авторы под инвестиционной привлекательностью понимают оценку эффективности использования собственного и заемного капитала, анализ платежеспособности и ликвидности (аналогичное определение – структура собственного и заемного капитала и его размещение между различными видами имущества, а также эффективность их использования) [3; 4].

Согласно подходу А. М. Могзоева, инвестиционная привлекательность определяется состоянием внутренней и внешней среды ячейки инвестирования (организации). Классически внутренняя среда определяется структурой, кадрами, технологией и задачами деятельности организации. Внутренняя среда ячейки инвестирования обладает собственными характеристиками, определяющими ее эффективность и инвестиционную привлекательность. Однако она погружена во внешнюю среду, основные компоненты которой, определяющие состояние инвестиционного климата, влияют на решение потенциального инвестора. Отличительная черта этих компонентов – объективность, т. е. состояние окружающей системы не зависит от оценки потенциального инвестора и определяется по ее социальным, экологическим и другим параметрам [5].

Самая общая и абстрактная, однако дающая основу для дальнейшего анализа трактовка понятия «инвестиционная привлекательность предприятия» может быть предложена исходя из смысла самих слов – это целесообразность вложения средств в данное конкретное дело – коммерческое предприятие. Это определение интересно тем, что показывает, что сами инвесторы и организации включают в его содержание, критерии, которые они считают наиболее показательными.

В связи с тем что предприятия имеют возможность привлекать инвесторов разных типов, инвестиционная привлекательность – это целый комплекс взаимосвязанных мер, делающих компанию привлекательной для всех и со всех сторон.

Для понимания того, как сформировать инвестиционную привлекательность, рассмотрим, что делает компанию привлекательной в глазах инвесторов и как инвестиционная привлекательность оценивается.

Следует отметить, что не существует единого подхода к оценке инвестиционной привлекательности предприятий. Каждый инвестор использует собственные методики и подходы. Определено, что оценка инвестиционной привлекательности предприятия – это сложный процесс, в котором математический расчет составляет лишь один из элементов.

Характеристика методики анализа инвестиционной привлекательности предприятия должна быть дополнена классификацией выделяемых видов инвестиционной привлекательности (см. рисунок).

В первую очередь инвестора обычно интересует, что производится на предприятии, где оно расположено и насколько предприимчивы его руководители и персонал. Поэтому исходными слагаемыми инвестиционной привлекательности предприятия являются кадровая, территориальная, продуктовая привлекательность. В качестве главного слагаемого инвестиционной привлекательности предприятия выделена финансовая привлекательность, потому что в финансах предприятия отражаются главные результаты его деятельности (прибыльность, рентабельность), деловой активности (фондоотдача, оборачиваемость оборотных средств) и финансовой состоятельности (показатели ликвидности, обеспеченности собственными средствами). Инновационная, социальная, экологическая, информационная привлекательность предприятия, а также привлекательность корпоративной культуры рассматриваются в качестве оценок перспективности его развития для инвесторов.

Для проведения оценки инвестиционной привлекательности предприятия существуют несколько подходов: рыночный, бухгалтерский, комбинированный.

Рыночный подход основан на анализе внешней информации о компании. Это позволяет оценить изменение как рыночной стоимости ее акций, так и величины выплачиваемых дивидендов путем расчета следующих показателей:

– рыночной добавленной стоимости на акционерный капитал (MVA);

– общего дохода на вложения в акции компании (TSR);

– средневзвешенной стоимости капитала (WACC).

– отношения рыночной капитализации к капиталу (MBR).

Рыночный подход не может применяться по отношению к компаниям, не разместившим свои акции на рынке ценных бумаг.

Бухгалтерский подход основан на анализе внутренней информации и использует обычные механизмы анализа хозяйственной деятельности. К основным показателям, применяющимся для такой оценки, относятся показатели, которые рассчитываются на основании данных бухгалтерской отчетности компании:

– чистая прибыль;

– денежные потоки компании;

– стоимость чистых активов;

– отношение прибыли компании за период к размеру акционерного капитала;

– акционерная добавочная стоимость;

– отношение прибыли компании за период к активам компании;

– адекватность покрытия процентов по облигациям и дивидендов по акциям чистой прибыли компании;

– коэффициенты платежеспособности и ликвидности, рассчитываемые в зависимости от срочности погашения долга;

– отношения ликвидности (быстрое – отношение денежных оборотных средств к краткосрочным обязательствам и текущее – в числитель дополнительно включены готовая продукция, незавершенное производство и производственные запасы);

– оценка деловой активности предприятия;

– оценка эффективности использования имущества (коэффициенты рентабельности имущества, основных средств, собственных средств);

– оценка состояния денежных средств, расчетов и прочих активов (дебиторской задолженности); проводится для выявления причин роста дебиторской задолженности, в частности просроченной и безнадежной, отвлечения денежных средств в банковский оборот и т. д., а также для выявления определенных резервов совершенствования политики расчетов;

– другие.

Бухгалтерский подход имеет следующие недостатки:

– финансовые показатели могут значительно отличаться от фактического финансового положения компании. Например, в отчетности может быть убыток (или уменьшение прибыли), что, согласно методикам, должно отрицательно сказаться на инвестиционной привлекательности компании. Но если убыток связан только с тем, что компания значительные средства направила на реализацию новых перспективных проектов, то фактически компания является привлекательной для инвестора;

– в подходе не учитывается тот факт, что за счет использования различных (при этом законных) методов

Классификация видов инвестиционной привлекательности

учета амортизации, оценки стоимости имущества, отчислений на НИОКР, валютных операций, приобретаемых активов, нередко реальные убытки могут трансформироваться в «бумажную» прибыль, и наоборот;

– данные, указанные в бухгалтерской отчетности, отражают финансовую картину организации только на какой-то конкретный момент, при этом не учитываются события, происходящие в организации в межотчетный период.

Комбинированный подход сочетает в себе оценку внутренних и внешних характеристик компании. Поэтому он наиболее приемлем с точки зрения надежности результатов оценки инвестиционной привлекательности компаний [6; 7].

К основным показателям, используемым аналитиками фондового рынка и инвестиционными менеджерами, относятся следующие:

– отношение капитализации компании к EBITDA (прибыли компании до вычета налога на прибыль, начисленных процентов по кредитам и амортизации).

– отношение рыночной капитализации к выручке (PSR);

– коэффициент, сопоставляющий цену акции с доходом на акцию (PER).

Для оценки инвестиционной привлекательности российских крупных компаний и групп должны применяться несколько иные механизмы, чем для небольших компаний, так как для них открыто больше возможностей экономического и политического характера, но в то же время они во многом зависят от решений, принимаемых на государственном уровне.

В силу этого применительно к крупным компаниям наибольшую важность приобретают следующие факторы:

– имидж компании (как для потребителей, так и для контрагентов);

– репутация фактического собственника корпорации;

– наличие и устойчивость взаимосвязей (как формальных, так и неформальных) с другими компаниями;

– активность компании в области повышения ее деловой репутации, имиджа;

– характер взаимодействия с государственными органами;

– корпоративное управление компании;

– прозрачность представляемой отчетности;

– преобразования в структуре группы, в которую входит компания.

В настоящее время существуют рейтинговые агентства (ведущие из которых Standard & Poor's, Moody's и Fitch), присваивающие предприятиям рейтинг инвестиционной привлекательности. Методика составления рейтинга доступна для общественности, а сами агентства имеют хорошую репутацию и их мнение считается достоверным и надежным. Услуги таких агентств достаточно дороги (проведение оценки стоит примерно 50 тыс. долл.), поэтому позволить себе их могут только крупные компании.

Для повышения своей инвестиционной привлекательности (большего соответствия требованиям инвесторов) предприятие может провести ряд мероприятий. Основными мероприятиями в этой связи могут быть следующие.

1. Разработка долгосрочной стратегии развития. Для потенциального инвестора стратегия демонстрирует видение предприятием своих долгосрочных перспектив и адекватность менеджмента предприятия условиям работы предприятия (как внутренним, так и внешним). Очевидно, что наибольшее значение наличие четкой стратегии имеет для инвесторов, заинтересованных в долгосрочном развитии предприятия, а именно участвующих в бизнесе.

Имея долгосрочную стратегию развития, предприятие переходит к разработке бизнес-плана.

2. Бизнес-планирование. В бизнес-плане подробно и детально рассматриваются все аспекты деятельности, обосновываются объем необходимых инвестиций и схема финансирования, результаты инвестиций для предприятия. План денежных потоков, рассчитываемый в бизнес-плане, позволяет оценить способность предприятия вернуть инвестору из группы кредиторов заемные средства и выплатить проценты. Для инвесторов-собственников бизнес-план является основанием для проведения оценки стоимости предприятия и, соответственно, оценки стоимости капитала, вложенного в предприятие, и обоснованием потенциала его развития.

3. Проведение юридической экспертизы и приведение правоустанавливающих документов в соответствие с законодательством. По итогам экспертизы выявляются несоответствия указанных направлений современным нормам законодательства. Устранение этих несоответствий является крайне важным шагом, так как при анализе предприятия любой инвестор придает юридическому аудиту большое значение. Так, для кредитора важным этапом процесса переговоров с предприятием является подтверждение прав собственности на предоставляемое в качестве залога имущество. Для прямых инвесторов, приобретающих пакеты акций предприятия, важным моментом являются права акционеров и другие аспекты корпоративного управления, непосредственно влияющие на их способность контролировать направления расходования вложенных средств.

4. Создание кредитной истории предприятия. Кредитная история предприятия позволяет судить о его опыте по освоению внешних инвестиций и выполнению обязательств перед кредиторами и инвесторами-собственниками. В этой связи возможно проведение мероприятий по созданию такой истории. Например, предприятие может провести выпуск и погашение облигационного займа на относительно небольшую сумму с коротким сроком погашения. После погашения займа предприятие в глазах инвесторов перейдет на качественно иной уровень, как кредитор, способный своевременно выполнить свои обязательства. В дальнейшем предприятие сможет на более выгодных условиях привлекать как заемные средства в форме следующих выпусков облигационных займов, так и прямые инвестиции.

5. Проведение мероприятий по реформированию (реструктуризации). Является одним из самых сложных мероприятий по повышению инвестиционной привлекательности предприятия. Полная программа реформирования включает совокупность мероприятий по комплексному приведению деятельности компании в соответствие с изменяющимися условиями рынка и выработанной стратегией ее развития.

Реструктуризация может проводиться по нескольким направлениям.

1. Изменение организационной структуры и методов управления. Данное направление реформирования на-

целено на совершенствование процессов управления, обеспечивающих основные функции эффективно действующего предприятия, и организационных структур предприятия, которые должны соответствовать новым процессам управления.

Реструктуризация систем управления предприятий и оргструктуры может включать в себя следующие мероприятия:

– введение в процессы управления и соответствующие организационные структуры недостающих звеньев;

– выделение некоторых направлений бизнеса в отдельные юридические лица, образование холдингов, другие формы изменения организационной структуры;

– налаживание информационных потоков в части управленческой информации;

– нахождение и устранение лишних звеньев в управлении.

2. Реформирование акционерного капитала. Данное направление включает в себя мероприятия по оптимизации структуры капитала – дробление, консолидацию акций, все описанные в законе об акционерных обществах формы реорганизации акционерного общества. Результатом подобных действий является повышение управляемости компании или группы компаний.

3. Реформирование активов. В рамках реструктуризации активов можно выделить реструктуризацию имущественного комплекса, реструктуризацию долгосрочных финансовых вложений и реструктуризацию оборотных активов. Данное направление реструктуризации предприятия предполагает любое изменение структуры его активов в связи с продажей излишних, непрофильных и приобретением необходимых активов, оптимизацию состава финансовых вложений (краткосрочных и долгосрочных), запасов, дебиторской задолженности.

4. Реформирование производства. Данное направление реструктуризации нацелено на совершенствование производственных систем предприятий. Целью в данном случае может быть повышение эффективности производства товаров, услуг; повышение их конкурентоспособности, расширение ассортимента или перепрофилирование. Реструктуризация производства может включать следующие мероприятия:

– расширение выпуска и продаж выгодной продукции;

– освоение новой, коммерчески перспективной продукции или услуги;

– снятие с производства нерентабельной продукции, если при этом отсутствуют реальные для осуществления инвестиционные проекты по снижению издержек, росту конкурентоспособности продукции и пр.;

– другие мероприятия.

Комплексная реструктуризация предприятия включает в себя комбинацию мероприятий, относящихся к нескольким из перечисленных выше направлений.

Для определения того, какие из мероприятий необходимы предприятию для повышения инвестиционной привлекательности, целесообразно проведение анализа существующей ситуации (диагностики состояния предприятия).

В процессе диагностики рассматриваются различные направления (аспекты) деятельности предприятия: сбыт, производство, финансы, управление. Выделяется сфера деятельности предприятия, которая связана с наибольшими рисками и имеет наибольшее число слабых сторон, формируются мероприятия для улучшения положения по выделенным направлениям.

Предприятие может сформировать программу мероприятий для повышения инвестиционной привлекательности, исходя из своих индивидуальных особенностей и сложившейся конъюнктуры рынков капитала. Реализация такой программы позволяет ускорить привлечение финансовых ресурсов и снизить их стоимость. Следует отметить, что описанные выше возможные мероприятия не требуют существенных материальных затрат, но результатом их реализации, помимо собственно роста интереса инвесторов к компании, является также повышение эффективности ее работы.

Библиографические ссылки

1. Маленко Е., Хазанов В. Инвестиционная привлекательность и ее повышение [Электронный ресурс] // Автоматизация управления компаниями. 2007. URL: http://www.insapov.ru/investment-attraction (дата обращения 28.07.2010).

2. Валинурова Л. С., Казакова О. Б. Управление инвестиционной деятельностью : учебник. М. : КноРус, 2005.

3. Гиляровская Л. Т., Лысенко Д. В. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности : учебник. М. : Проспект : Велби, 2008.

4. Крылов Э. И., Власова В. М. Анализ финансовых результатов предприятия : учеб. пособие / С.-Петерб. ун-т аэрокосмич. приборостроения. СПб., 2006.

5. Могзоев А. О некоторых терминах, используемых в инвестиционных процессах // Инвестиции в России. 2002. № 6. С. 48–51.

6. Гайданский А. И. Факторы риска в инвестиционных проектах и оценка эффективности капитальных вложений // Финансовый менеджмент. 2004. № 7. С. 28–34.

7. Воронов К. Основы теории инвестиционого анализа [Электронный ресурс] // Eup.ru. 2007. URL: http://www.eup.ru/Documents/2007-03-19 (дата обращения: 28.07.2010).

Yu. A. Chayran, A. A. Lukianova

FORMATION OF INVESTMENT APPEAL OF ENTERPRISES

The article examines the problem of compounds of investment appeal and approaches to its evaluation. We also suggest range of actions which can help to raise the investment appeal of enterprises.

Keywords: investors, investment appeal, investment highlights, approaches to investment appeal, range of actions which can help to raise investment appeal of enterprise.

© Чайран Ю. А., Лукьянова А. А.. 2010

УДК 06.35.31

Ю. В. Ерыгин, А. А. Джежора

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Рассматриваются проблемы управления инновациями на предприятиях ОПК на основе использования управленческой методики системы сбалансированных показателей (ССП). Уточняется понятие сбалансированности ССП. Описываются виды сбалансированности ССП с учетом специфики деятельности предприятий ОПК.

Ключевые слова: система сбалансированных показателей, оборонно-промышленный комплекс.

Современное состояние национальной экономической системы характеризуется острой необходимостью технологической модернизации подавляющего большинства ее составляющих, перехода к инновационному сценарию развития [1; 2]. Значительная часть научно-технического потенциала сосредоточена на предприятиях оборонно-промышленного комплекса (ОПК), вследствие чего именно этим предприятиям отводится одна из основных ролей по обеспечению инновационного преобразования экономики [3]. В настоящее время отечественный ОПК представляет собой совокупность из около 1 700 научных и производственных организаций, расположенных в 72 субъектах Российской Федерации [4]. Доля предприятий ОПК в производстве продукции для космических нужд, авиационной техники, оптического приборостроения, электроники доходит до 100 %; судостроения, радиоэлектронной аппаратуры – 90 %, средств связи – 70 %, сложной медицинской техники – 60 %, высокотехнологичного оборудования для топливно-энергетического комплекса – 30 %; изделий машиностроения – до 27 %. Вместе с тем современное состояние российского ОПК характеризуется как крайне неудовлетворительное [5]. Критической является кадровая проблема: текучесть кадров составляет до 6 % в год [6], причем в первую очередь уходят наиболее квалифицированные и активные специалисты молодого и среднего возраста. Морально и физически изношена материально-техническая база ОПК. Износ основных производственных фондов (ОПФ) у организаций оборонных отраслей промышленности составляет 75 %, а более трети ОПФ изношены на 100 % [7], при этом утрачено до 50 % технологий, применявшихся для разработки и производства перспективных образцов военной техники [8]. Остается сложным финансовое положение научных и производственных предприятий ОПК. Низкий уровень рентабельности (порядка 3 % в среднем по комплексу [7]) и недоступность «длинных» кредитов лишает организации ОПК оборотных средств и не позволяет осуществлять инвестирование в развитие. Высока доля убыточных предприятий, например, из двадцати крупнейших предприятий ОПК (по версии РБК) [9] пять по итогам 2008 г. были убыточными, а по оценкам независимых экспертов [7], в целом доля убыточных предприятий оценивается на уровне 40 %. Такое положение вызвано прежде всего низкой загрузкой производственных мощностей – не более 30 %, и в ближайшее время, несмотря на планы по увеличению производства новых вооружений и военной техники (ВВТ) на 12,2 % в год [10], существенного повышения уровня загрузки за счет производства ВВТ не предвидится. Возрастающие параметры гособоронзаказа на 2010–2012 гг. скажутся лишь на закупках продовольствия, в то время как объем закупок ВВТ для силовых структур РФ фактически снизится [11]. Пока не спасает ситуацию конверсия. Доля производства гражданской продукции предприятиями ОПК колеблется на уровне 40–45 % [12; 13], но конверсионная продукция вследствие высокой себестоимости по большей части неконкурентоспособна. Также, по признанию бывшего советника Президента РФ по вопросам военно-технической политики Александра Бурутина [7]), сегодня российская оборонная промышленность не имеет системы управления, отвечающей современным требованиям. Федеральные органы исполнительной власти, которые должны регулировать все вопросы деятельности оборонной промышленности, не могут обеспечить выполнения стоящих перед ОПК задач и, кроме того, не несут никакой ответственности за результаты своей деятельности.

Выходом из сложившейся ситуации, во-первых, должны стать меры «наведения порядка» в части государственного регулирования деятельности предприятий ОПК и ответственных ведомств, создания механизмов общественного контроля за расходованием средств гособоронзаказа. Можно отметить, что с той или иной степенью эффективности эта задача решается: приняты и разрабатываются ряд федеральных целевых программ [10], при этом по планам Минпромэнерго доля инновационной продукции в общем объеме выпуска предприятий ОПК должна составлять минимум 10 %. Во-вторых, что не менее важно, необходима инициатива, исходящая от самих предприятий ОПК, по диверсификации деятельности, направленная на разработку и освоение новых, конкурентных, с большой долей инновационной составляющей видов продукции как военного, так и невоенного или двойного назначения. Вследствие этого актуальной является задача разработки и внедрения в практику инновационной деятельности предприятий ОПК современных методов управления инновациями, учитывающих специфику инновационного процесса на этих предприятиях.

Традиционный подход предполагает решение обозначенной задачи как на стратегическом, так и на операционно-тактическом уровнях. Возникающая при этом существенная разность в определении и решении вопросов стратегического и оперативно-тактического порядка может приводить к проблемам рассогласованности между стратегическими целями и операционными действия-

ми. Инновации зарождаются прежде всего в среде специалистов, т. е. вне стратегического уровня управления предприятием. В то же время инновационный процесс и связанное с ним последующее появление инновации требует постоянного внимания и участия со стороны высшего руководства предприятия ввиду больших стратегических рисков различного характера. В этой связи во многих исследованиях убедительно показана [14; 15, с. 40–53; 16, с. 49–71] необходимость синтеза принципов стратегического и инновационного менеджмента: с одной стороны, «вписывания» инновационного процесса в стратегию, а с другой – подстройку стратегии под инновационный потенциал. Одним из эффективных инструментов такого синтеза стратегического и инновационного менеджмента является методика управления на основе построения и использования системы сбалансированных показателей (ССП).

ССП была создана как ответ на не справлявшуюся с потребностями времени систему финансово-бухгалтерской отчетности, применяемую для анализа деятельности и принятия решений как оперативного, так и стратегического характера [17, с. 16–17]. Главным недостатком такой системы является то, что информация, ею предоставляемая, отражает сведения лишь о свершившихся событиях и только в финансовой области жизнедеятельности предприятия. При этом практически никак не показываются сведения, имеющие влияние на будущие финансовые результаты и относящиеся к ключевым компетенциям компании в таких стратегически важных областях, как взаимоотношения с клиентами, качество внутренних бизнес-процессов и обучения сотрудников. Не оспаривая важности финансовых показателей и используя принцип, заключающийся в том, что правильно управлять можно лишь тем, что можно посчитать (определить количественно), профессора Гарвардского университета Д. Нортон и Р. Каплан (США) создали такую систему, в которую помимо финансовых показателей вошли показатели, относящиеся к таким ключевым компетенциям, как взаимоотношения с клиентами, управление внутренними бизнес-процессами и обучение и развитие персонала [17]. Методика применения ССП подразумевает глубокий анализ существа работы предприятия и построение гипотезы о причинно-следственных связях между факторами операционной деятельности, обусловливающими достижение стратегических целей. На этой основе, исходя из определяемых отдельно принципов количественного описания обозначенных факторов, разрабатывается каскадированная система численных оценок (показателей) деятельности, группируемых по составляющим «финансы», «клиенты», «внутренние бизнес-процессы» и «обучение и развитие персонала». Основоположниками ССП отмечается, что состав и количество составляющих ССП может быть различным в зависимости от потребностей конкретной организации и ее стратегии. Окончательно сформированная ССП должна отражать информацию о нормативных уровнях показателей, информацию о должностных лицах, руководителях и подразделениях, ответственных за планомерное достижение нормативных уровней тех или иных показателей. Таким образом четко и наглядно обозначается связь ежедневной деятельности отдельных коллективов и лиц со стратегической деятельностью компании в целом, а весь процесс управления компанией строится на основе разработки, учета и анализа всеобъемлющей, связанной со стратегией системы численных параметров деятельности – системы сбалансированных показателей. Форма представления ССП может иметь вид таблицы [18].

Совокупность показателей $X_1 ... X_M$ представляет собой группу «опережающих индикаторов», описывающих факторы операционной деятельности предприятия. Преимущественно, к «опережающим индикаторам» будут относиться показатели из составляющих «клиенты», «внутренние бизнес-процессы» и «обучение и развитие персонала». Показатели $Y_1 ... Y_N$ – это «запаздывающие индикаторы», часть из которых будут являться стратегическими показателями, т. е. показателями, описывающими стратегические цели. К «запаздывающим индикаторам» будут относиться в основном показатели из составляющей «финансы». Интервал времени от t_0 до t_I представляет собой период времени горизонта стратегического планирования деятельности предприятия; интервал от t_i до t_{i+1}, где i принадлежит интервалу [0, I], является минимальным интервалом времени учета показателей, равным, например, один месяц. По определению «запаздывающие индикаторы» находятся в зависимости от «опережающих индикаторов». При достаточной степени адекватности и сбалансированности разработанной ССП, планомерное достижение нормативных уровней совокупности показателей $X_1 ... X_M$ должно обеспечивать планомерное достижение нормативных уровней совокупности показателей $Y_1 ... Y_N$, т. е. приводить к реализации стратегии и достижению стратегических целей. При этом под адекватностью понимается соответствие ССП действительности. Сбалансированность, как основополагающее понятие, требует большего внимания, так как в литературе его раскрытие и конкретизация являются явно недостаточными или даже отсутствуют как таковые.

Часто под сбалансированностью чего-либо понимается взаимное равенство компонентов, их согласованность, уравновешенность. Такое понимание близко к определению, приведенному в [19, с. 20–22], здесь сбалансированность трактуется как равновесие между финансовыми и нефинансовыми индикаторами, внешними и

Табличная форма представления ССП

Ответственный →	A	…	…	A_M	A_1	…	A_N
Показатели → / Время ↓	X_1	X_2	…	X_M	Y_1	…	Y_N
t_0	$X_{1,t0}$	$X_{2,t0}$	…	$X_{M,t0}$	$Y_{1,t0}$	…	$Y_{N,t0}$
t_1	$X_{1,t1}$	$X_{2,t1}$	…	$X_{M,t1}$	$Y_{1,t1}$	…	$Y_{N,t1}$
…	…	…	…	…	…	…	…
t_I	$X_{1,tI}$	$X_{2,tI}$	…	$X_{M,tI}$	$Y_{1,tI}$	…	$Y_{N,tI}$

внутренними компонентами, запаздывающими и опережающими индикаторами. Также в ряде случаев в смысл сбалансированности вкладывают не только равновесность компонентов, но и их оптимальный состав, что в целом должно обеспечивать максимальную выгоду. Именно в этом ключе следует воспринимать понятие сбалансированности применительно к ССП, что напрямую следует из задачи, решаемой ССП: быть всеобъемлющей, каскадированной системой численных параметров оценки деятельности, связывающих воедино стратегию и тактику компании. В этой связи предлагается следующее определение: *сбалансированность ССП – это такое состояние ССП, при котором достигается согласованная максимально возможная степень учета в ССП факторов различной природы, т. е., по сути, степень соответствия сочетания совокупностей показателей* $X_1...X_M$, $Y_1...Y_N$ *и их нормативных значений некоторому гипотетическому наилучшему варианту*.

Уточнение понятия сбалансированности ССП приводит к необходимости выявления и описания ряда видов сбалансированности ССП, учитывающих (возвращаясь к первоначально обозначенной цели исследования) специфику инновационной деятельности на предприятиях ОПК. В целом инновационная деятельность сквозь призму ССП рассматривается как неотъемлемая часть жизнедеятельности предприятия и описывается прежде всего соответствующими показателями, которые должны иметь отношение и ко всем составляющим ССП: к «финансам», так как важно обеспечивать соответствующими средствами исследования и финансовым результатом будет определяться эффект от инновационной деятельности; к «клиентам», так как важно формировать спрос на инновационную продукцию; к «обучению и развитию персонала», так как исследования и последующее освоение способен выполнять только квалифицированный персонал; к «внутренним бизнес-процессам», так как эффективно создавать инновации возможно лишь при соответствующем качестве инновационного процесса на предприятии. Также для предприятия ОПК (в том случае, если речь идет об инновации в области техники или технологии) целесообразным будет введение дополнительной составляющей ССП, которая бы содержала показатели, отражающие технико-технологические характеристики инновационного продукта. Это важно, так как только в данном случае появляется возможность контролировать основные технические (технологические) параметры инновации [20, с. 245–248; 21], в непосредственной зависимости от которых находится ее экономический эффект. Такую составляющую ССП можно назвать «технологическая специализация». Таким образом, с введением дополнительной составляющей ССП, учитывающей специфику инновационной деятельности на предприятии ОПК, можно говорить о сбалансированности ССП по составляющим.

Рассмотрим каждый вид сбалансированности ССП.

Сбалансированность по количеству показателей. Уже на самых ранних этапах построения ССП возникает вопрос о количестве показателей. Процесс жизнедеятельности на современном предприятии ОПК сложен и многогранен, вследствие чего количество факторов операционной деятельности, обусловливающих исполнение стратегии, может быть очень большим. Тем не менее общее количество показателей не должно превышать количества, при котором нарушается целостность восприятия подаваемой информации. Поэтому, во-первых, показателей должно быть не много, а во-вторых, они должны обладать наибольшей значимостью по отношению к возможным другим показателям. Считается, что общее количество показателей для одного уровня управления должно быть в пределах от 15 до 20 [16, с. 130; 17, с. 114–115].

Сбалансированность по индикации. Речь идет о соотношении «опережающих индикаторов» и «запаздывающих индикаторов». Напомним, что «опережающие индикаторы» – это показатели, описывающие факторы операционной деятельности, в зависимости от которых, в соответствии с гипотезой о причинно-следственных связях факторов, находится процесс исполнения стратегии, т. е. процесс достижения стратегических целей. «Опережающими индикаторами» их можно назвать потому, что эти показатели отражают степень соответствия текущей деятельности предприятия принятой стратегии, таким образом давая представление о будущих, в том числе стратегических результатах. «Запаздывающие индикаторы» собственно отражают достигнутые результаты, т. е. констатируют уже случившейся факт достижения или недостижения стратегических целей. Параметры соотношения «опережающих индикаторов» и «запаздывающих индикаторов» должны обеспечивать максимальную информативность о текущем ходе исполнения стратегии.

Сбалансированность по отношению к составляющим. Как уже отмечалось, на предприятии ОПК, принявшем к исполнению стратегию, одной из основных целей которой является технологическая инновация, целесообразно построение ССП с пятью составляющими: «финансы», «клиенты», «внутренние бизнес-процессы», «обучение и развитие персонала», «технологическая специализация». Сбалансированность ССП по отношению к составляющим будет достигнута при обеспечении примерного равного распределения показателей между составляющими. Иными словами, количество показателей, относимых к какой-либо одной составляющей, должно быть в пределах от 15 до 25 % от общего количества показателей. Отдельно следует остановиться на составляющей «клиенты», так как клиентами у предприятия ОПК могут быть: государство в лице военного представительства, заказывающих управлений министерств, ведомств и других имеющих отношение к формированию гособоронзаказа структур; иностранное государство в лице его представителей при посредничестве соответствующих госструктур РФ; потребители его конверсионной продукции. Все это различные группы клиентов со своими индивидуальными особенностями и специфическими характерактеристиками, что должно учитываться при формировании составляющей «клиенты».

Сбалансированность по новизне. По отношению к имеющемуся производству в зависимости от степени новизны предполагаемая стратегией инновация может быть последовательной, наполовину радикальной и радикальной [16, с. 33]. Последовательная инновация не предполагает значительных изменений конструкции или способов производства освоенных продуктов. По сути,

имеется в виду некоторая усовершенствующая модификация с целью улучшить потребительские свойства или технологию. Наполовину радикальная инновация предполагает средней степени новшество со значительными изменениями в конструкции или технологии. При радикальной инновации речь идет о принципиальной перестройке продукта, технологии или о разработке совершенно нового продукта (и, как следствие, технологии его производства). Соответственно, состав показателей ССП должен быть согласован с характером инновационной деятельности, в зависимости от степени новизны предполагаемой инновации.

Сбалансированность по соотношению «основное производство – конверсионное производство». По отношению к производству оборонной продукции по продуктово-технологическому признаку производство конверсионной продукции можно классифицировать по трем вида связи [14]:

– конструкционно-технологической;

– технологической;

– отсутствующей.

Конструкционно-технологическая связь конверсионного производства с имеющимся производством продукции военного назначения характеризуется, как следует из названия, конструктивным и технологическим сходством конверсионной продукции с военной продукцией. Иными словами, конверсионная и военная продукция будут иметь одинаковые или близкие элементы конструкции, схемы компоновки; они будут производиться на одном и том же оборудовании при помощи одних и тех же технологий. Сходным будет также назначение продуктов, с той лишь разницей, что применяться они будут для различных целей.

Технологическая связь характеризуется лишь сходством применяемых технологий, т. е. для производства конверсионного продукта, конструктивно отличающегося от военного, будет применяться одна и та же технологическая база.

Соответственно, отсутствующая связь характеризуется отсутствием конструктивных сходств между конверсионной продукцией и продукцией военного назначения. Для их производства требуется большое количество различных технологий. В этом случае речь может идти о сосуществовании сильно отличающихся между собой направлений деятельности.

Следует заметить, что на предприятиях ОПК могут быть все три вышеописанные типа конверсионных производств, и в ССП это должно быть учтено.

Сбалансированность по периоду измерения. Показатели ССП могут иметь различные периоды времени, в которые производится их учет. В зависимости от периодов учета показателей ССП будет обладать той или иной степенью информативности. С другой стороны, чем чаще измеряется тот или иной показатель, тем больше сил и средств будет тратиться на его учет. Также различные показатели в связи с их спецификой на разных сроках исполнения стратегии целесообразно измерять с разными интервалами времени. Можно обозначить, что различные группы показателей будут учитываться либо ежемесячно, либо ежеквартально, либо раз в полгода или год. Принимая во внимание факт, что чем больше частота учета, тем большую информацию показатели несут о текущей оперативной деятельности предприятия, разумным может быть учет показателей, описывающих стратегические результаты на поздних сроках реализации стратегии в интервалы времени меньшие, чем на ранних сроках реализации стратегии. Таким образом, если в начале тот или иной стратегический показатель учитывался раз в год или полгода, то впоследствии может быть целесообразным учитывать такой показатель ежемесячно или ежеквартально.

Сбалансированность по нормативным значениям. Одним из наиболее сложных этапов создания ССП является этап определения нормативных уровней показателей. Важность этапа очевидна: планомерное достижение нормативных уровней должно в конечном счете обеспечить достижение целей, описанных в стратегии. В общем случае [17, с. 152; 19, с. 173–181] нормативные уровни рекомендуется определять из условия напряженной реализуемости, т. е. субъективной оценки, получаемой на основе анализа тенденций, достигнутых величин, прогнозов и сценариев развития так, чтобы реализация нормативного уровня того или иного показателя была достижимой, но для его достижения потребовалась некоторая концентрация усилий руководителей и коллективов, ответственных за этот показатель. В то же время продуктивность задания нормативных значений, исходя из условий напряженности, ставится под сомнение [22, с. 98–99]. В этом труде нормативные уровни показателей предлагается определять на основе факторного анализа каскада целей, при определении стратегических разрывов между текущим состоянием предприятия и желаемым состоянием, описанным в стратегии.

Учет описанных видов сбалансированности при создании ССП на предприятии ОПК, принявшим к исполнению инновационную стратегию, позволит обеспечить надлежащее качество создаваемой ССП, что в свою очередь положительно скажется на качестве инновационной деятельности данного предприятия в целом.

Библиографические ссылки

1. Пора готовиться к следующему заезду : ред. ст. // Эксперт. 2009. № 29 (667). С. 9.

2. Костина Г. Пока в ручном режиме // Эксперт. № 25 (663). 2009. С. 56–57.

3. Иванов С. Б. Роль высоких технологий на современном этапе экономического развития страны [Электронный ресурс] : выступление на XI Петерб. междунар. экон. форуме. 14.06.06 // Недвижимость и инвестиции. Правовое регулирование. 2007. № 1–2 (30–31) (дата обращения: 29.05.2010).

4. О современных тенденциях поддержания кадрового потенциала оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации / И. Б. Федоров, В. К. Балтян, П. Д. Крутько и др. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ihst.ru/personal/akm/14t28.htm (дата обращения: 28.05.2010).

5. Дятликович В., Гребцов И. Комплекс оборонки [Электронный ресурс] // Русский репортер : online-журн.

2009. № 19 (98). URL: http://www.rusrep.ru/2009/19/vpk/ (дата обращения: 23.05.2010).

6. О социальном положении работников ВПК [Электронный ресурс] : [стенограмма интервью с Н. К. Соловьевым в студии радио «Маяк»] // Маяк. 06.02.2007. URL: http://www.radiomayak.ru/tvp.html?id=48942 (дата обращения: 27.05.2010).

7. Цициев М. От советского ОПК к ОПК новой России [Электронный ресурс] // Бюджет. 2007. № 5. URL: http://www.bujet.ru/article/17370.php (дата обращения: 27.05.2010).

8. Кириллов Н. Г. Ахиллесова пята обороноспособности страны [Электронный ресурс] // Независимое военное обозрение. 10.11.2006. URL: http://nvo.ng.ru/armament/2006-11-10/6_opk.html (дата обращения: 20.11.2006).

9. Крупнейшие предприятия ОПК России в 2008 г. [Электронный ресурс] : рейтинг агенства РБК // РБК. Рейтинг. 03.08.2009. URL: http://rating.rbc.ru/article.shtml?2009/08/03/32516363 (дата обращения: 10.08.2009).

10. Сидоров М. Планка для планов [Электронный ресурс] // Энергия промышленного роста. 2008. № 4–5 (25). URL: http://www.tpr-magazine.ru/prompolitios/maintheme/plans/ (дата обращения: 23.05.2010).

11. Оборонно-промышленный комплекс // Машиностроение в России. 2009. № 34 (775). С. 40.

12. О состоянии промышленного производства и розничной торговли в январе–мае 2009 г. [Электронный ресурс] : стат. отчет Минпромторга // Минпромторг России. 23 июня 2009. URL: http://www.minprom.gov.ru/activity/avia/stat/13 (дата обращения: 10.08.2009).

13. О текущей ситуации развития промышленного производства в январе–марте 2008 г. : стат. отчет Минпромторга // Минпромторг России. 22 апреля 2008. URL: http://www.minprom.gov.ru/activity/avia/stat/5 (дата обращения: 10.08.2010).

14. Ерыгин Ю. В., Джежора А. А. Стратегическое планирование на машиностроительных предприятиях ОПК: проблемы выбора школы // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2007. № 1. С. 35–44.

15. Трефилова А. А. Управление инновационным развитием предприятия. М. : Финансы и статистика, 2003.

16. Давила Т., Епштейн М. Дж, Шелбот Р. Работающая инновация: Как управлять ею, измерять ее и извлекать из нее выгоду : пер. с англ. / под науч. ред. Т. Ф. Козицкой. Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007.

17. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей: от стратегии к действию : пер. с англ. М. : Олимп-Бизнес, 2003.

18. Ерыгина Л. В., Джежора А. А. Применение инструментария имитационного агентного моделирования для оценки адекватности системы сбалансированных показателей [Электронный ресурс] / электр. текст подготовлен ФГОУ ВПО «МГТУ». Мурманск, 2009. 1 опт. компакт-диск (CD-ROM).

19. Нивен П. Р. Сбалансированная система показателей: Шаг за шагом: максимальное повышение эффективности и закрепление полученных результатов : пер. с англ. Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2004.

20. Ерыгин Ю. В., Джежора А. А. Введение дополнительной составляющей системы сбалансированных показателей для инновационной стратегии на промышленных предприятиях // Актуал. проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития». Ч. 3. Экономика и эффективность организации производства. Брянск, 2008.

21. Оганесян Т. Стремя, породившее феодализм [Электронный ресурс] // Эксперт. 2009. № 29 (667). URL: http://www.expert.ru (дата обращения: 27.05.2010).

22. Неудачин В. В. Реализация стратегии компании: финансовый анализ и моделирование. М. : Вершина, 2006.

Yu. V. Erygin, A. A. Dzhezhora

BSC CONCEPT IN INNOVATIONS MANAGEMENT SYSTEM FOR DEFENSE-INDUSTRIAL COMPLEX ENTERPRISES

The article considers problems of innovations management at defense-industrial enterprises on the basis of BSC administrative technique application. Definition of equation of BSC is refined. Types of BSC equation with the account of defense-industrial complex enterprises activity specificity are described.

Keywords: balanced score card, defense-industrial complex.

© Ерыгин Ю. В., Джежора А. А., 2010

УДК 378.001.76

О. Б. Воейкова

ИНТЕГРАЦИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РЕГИОНЕ КАК ФАКТОР ЕГО ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

Рассматриваются проблемы интеграции высшей школы и промышленности в контексте инновационного развития региона. Проводится ретроспективный анализ коэволюционного развития на примере предприятий оборонной отрасли промышленности и высшей школы в лице профильного аэрокосмического вуза Красноярского края с целью определения динамики их интеграционного взаимодействия.

Ключевые слова: инновационное развитие, интеграция, оборонная отрасль промышленности, высшая школа, коэволюция.

Повышение конкурентоспособности национальной экономики, сохранение места России в ряду ведущих стран мира возможно при осуществлении инновационного пути развития, при этом рост интеллектуально-образовательного потенциала общества становится важнейшей государственной задачей.

Российское правительство понимает важность инноваций и пытается всячески стимулировать инновационное развитие страны. Так, в ноябрьском 2009 г. Послании Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Д. А. Медведев подчеркивал необходимость создания в России крупного центра инноваций, аналога знаменитой Силиконовой долины, где «будут формироваться условия, привлекательные для работы ведущих учёных, инженеров, конструкторов, программистов, менеджеров и финансистов, и создаваться новые конкурентоспособные на мировом рынке технологии» [1]. Не так давно, на встрече с победителями школьных олимпиад президент сообщил, что российская Силиконовая долина будет создана в подмосковном Сколково [2], однако не ясно, почему комиссией по созданию российского центра инноваций было выбрано именно это место. За возможность стать таким центром боролись несколько российских территорий, которые уже сейчас известны как зоны высоких технологий. Среди них Томская и Новосибирская области, Санкт-Петербург и др., где расположены старейшие университеты, научные центры, а также крупные предприятия для промышленного освоения новых разработок, имеющие длительные и тесные взаимосвязи между собой.

Отметим, что интеграционное взаимодействие между университетом, предприятиями и другими учреждениями, ведущими научно-исследовательскую деятельность, является одним из существенных моментов при формировании центра инноваций. Не случайно именно интеграция Стэнфордского университета и базы ВВС США в Пало-Альто стала определяющим фактором при создании Стэнфордского исследователького института, который изначально работал на оборону, а затем стал крупнейшим центром микроэлектроники в мире [3].

По аналогии с Силиконовой долиной в Соединенных Штатах возникли и другие известные научно-исследовательские центры, такие как Массачусетский технологический институт в штате Массачусетс, Техасский университет в Остине, Университет Аризоны и другие, что демонстрирует широту охвата различных регионов в инновационном развитии страны.

Ориентация на инновационное развитие особенно важна для российских территорий, так как для России характерна чрезмерная региональная поляризация, связанная с существенными диспропорциями в распределении общественно значимых ресурсов: плодородных земель, климатических условий, полезных ископаемых, производственных предприятий, объектов инфраструктуры и т. п. Инновационная активность в регионах позволит сгладить неравномерности экономического развития этих территорий.

Достижение целей инновационного развития в регионе требует проведения мероприятий, максимально учитывающих его конкурентные преимущества. Одним из наиболее важных конкурентных преимуществ для части российских регионов является оборонная отрасль промышленности, которая всегда была генератором передовых научных, технических, технологических достижений и разработок. Тем не менее мощный потенциал оборонной промышленности используется не в полную силу в условиях активизации инновационного развития в регионах.

Кроме того, остается без внимания проблема оценки влияния уровня научно-инновационного развития высшей школы (ВШ) в регионе на состояние научно-производственного потенциала оборонно-промышленного комплекса (ОПК), а также проблема стимулирования интеграции между ВШ и ОПК региона в инновационно-технологическом направлении.

В связи с вышеуказанным, актуальным представляется исследование эволюции взаимовлияния ОПК и ВШ в регионе и определение вектора их коэволюции в условиях инновационного развития региона.

Красноярский край является показательным для такого исследования, поскольку характеризуется высокой концентрацией оборонных предприятий, на протяжении длительного периода имеющих тесные связи с ВШ в лице аэрокосмического университета.

Формирование Сибирского ОПК началось с создания в 1950–60-х гг. двух крупных предприятий для нужд ракетно-космической промышленности (РКП): Красноярского машиностроительного завода в городе Красноярске и серийного конструкторского бюро по разработке ракетно-космической техники под руководством М. Ф. Решетнева в городе Железногорске. А в 1960 г. в краевом центре было открыто специальное образовательное учреждение, базовым предприятием которого был определен «Красмашзавод». Позднее в число базовых предприятий вошли НПО ПМ и другие оборонные предприятия, раз-

мещенные в крае. Образовательную деятельность по системе «завод-втуз» предполагалось выстраивать на принципах совмещения обучения студентов с реальным производительным трудом на предприятиях отрасли [4].

Таким образом, уже на начальном этапе становления ОПК Сибири была сформирована некая система, включившая в себя компоненты двух более крупных систем: оборонной и образовательной (рис. 1). Сохранение целостности этой системы в ходе ее эволюционного развития зависело от степени устойчивости взаимодействия составляющих ее частей.

Согласно принципу коэволюции, который означает взаимно адаптивную изменчивость частей в рамках системы, приводящую к ускорению развития каждой из них и системы в целом, каждый из указанных компонентов вновь образованной системы обеспечивал развитие другого, а их взаимообусловленное изменение способствовало эволюционному развитию всей системы.

Подобное взаимопроникновение высшей школы и промышленности на протяжении длительного периода привело к тому, что каждый из компонентов интегрированной системы получал свои преференции от установившихся взаимосвязей.

Для предприятий ОПК края преимущество от такого взаимодействия с вузом заключалось прежде всего в постоянном воспроизводстве кадрового резерва, позволявшего удовлетворять потребности предприятий в современных специалистах по конкретным направлениям инженерной деятельности (производственной, конструкторской, исследовательской).

Высокий уровень вузовской подготовки специалистов для оборонной отрасли во многом определялся уникальностью образовательных программ, составленных под уровень развития предприятий, и обеспеченных достаточно современным оборудованием соответствующего технологического уклада.

Эволюционное развитие базовой отрасли создавало уникальные возможности для развития аэрокосмического вуза в силу наличия постоянно действующих интеграционных связей в образовательной, исследовательской и производственной деятельности. Особенно интенсивное развитие под экзогенным влиянием эволюционирующего ОПК вуз получил в конце 1980-х гг. (рис. 2).

Именно тогда вуз был переведен в двойное подчинение посредством закрепления за двумя министерствами – Министерством высшего и среднего образования РСФСР и Министерством общего машиностроения РСФСР, на каждое из которых возлагался определенный круг обязанностей. Это явилось прецедентом для всей системы высшего образования в стране и показало эффективность стратегии отраслевой интеграции для развития образовательного учреждения, благодаря которой стало возможным осуществление многоканального финансирования вуза.

Изменение экономических и политических условий в стране в 1990-х гг., вызванное распадом Советского Союза, начавшимся осуществлением неолиберальных рыночных реформ, ликвидация Министерства общего машиностроения, поставило и ОПК Сибири, и отраслевую высшую школу в сложную ситуацию, которая привела к существенным деформациям объединявших их коэволюционных связей. Целостность системы «вуз – предприятия ОПК» была нарушена. Стагнация одного из компонентов тормозила развитие другого. ОПК уже не был заинтересован в сохранении связей с профильным вузом, поскольку сам оказался на грани выживания. При этом вуз, несмотря на все сложности кризисного периода, показал свою гибкость, подвижность, готовность к преобразованиям, развиваясь гораздо более быстрыми темпами, чем базовая отрасль, предприятия которой были вынуждены перепрофилироваться на продукцию более низкого технического уровня.

Поиск новых путей развития базовой отрасли в интересах гражданского сектора экономики, переход к рыночным отношениям послужили толчком к расширению спектра направлений подготовки специалистов, среди которых помимо традиционного – ракетно-космического – четко обозначились еще четыре: эксплуатация воздушного транспорта, информатика и вычислительная техника, экономика и управление, гуманитарная сфера. В период с 1990 по 2009 г. существенно расширился перечень специальностей, открытых в вузе. Интенсивное развитие получили экономические специальности, что было напрямую связано с резким ростом потребности в кадрах экономистов и менеджеров при переходе к рыночным отношениям.

Необходимость расширения научно-образовательной деятельности и привлечения дополнительных инвестиций определила выход вуза на международный уровень. В настоящее время вуз является членом Европейского со-

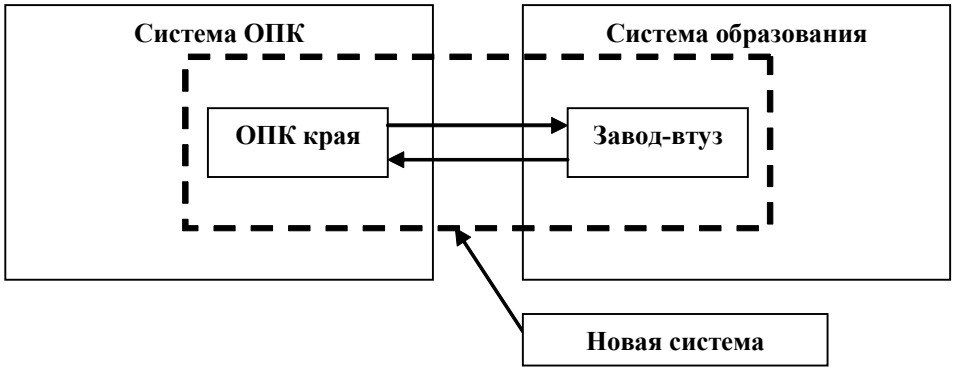


Рис. 1. Формирование интегрированной производственно-образовательной системы в регионе

вета по бизнес-образованию (ECBE) и Международного общества по инженерной педагогике (IGIP). Устойчивые связи сложились с Чешским техническим университетом в Праге, Высшей технической школой и университетом в Ульме (Германия), Государственным университетом штата Нью-Йорк в Онеонте (SUNY), Ракетно-космическим центром и Международным космическим лагерем в Хантсвилле (США). Не менее эффективно развивается сотрудничество с другими зарубежными партнерами, в числе которых университеты Германии, Голландии, Финляндии и Великобритании.

Успешное осуществление международного сотрудничества и динамичное развитие экономических специальностей вуза позволило развернуть новое, перспективное направление образовательной, научно-исследовательской и внешнеэкономической деятельности через формирование факультета международного бизнеса (ныне Международная высшая школа бизнеса). Создание ФМБ стало важным стратегическим решением руководства вуза. Это связано с тем, что космическая деятельность в России постепенно начинает приобретать черты, свойственные рыночной экономике, за счет роста удельного веса космической техники и услуг, выполняемых на коммерческой основе. Предприятия ОПК вынуждены заниматься коммерциализацией своей продукции, предпринимательской деятельностью в области высоких, ракетно-космических технологий (заниматься инженерным бизнесом), пытаясь при этом выйти и закрепиться на международном космическом рынке. Возникает острая необходимость в инженерных кадрах, обладающих глубокими экономическими знаниями, знаниями в области международных отношений, способных системно анализировать отечественный и зарубежный высокотехнологичные, космические рынки, в совершенстве владеющих иностранными языками. Функционирование ФМБ в структуре вуза, таким образом, становится особенно актуальным в условиях почти полного отсутствия специалистов такого уровня на отечественных предприятиях космической отрасли.

На данном этапе своего развития Сибирский аэрокосмический университет характеризуется высокой степенью инновационности, что подтверждают следующие положения:

– наличие инновационной организационной структуры, включающей образовательную, производственную и научную составляющую;

– высокая доля инновационно ориентированных специальностей, открытых в вузе (более 50 %), отвечающих требованиям высокотехнологичного инновационного сектора экономики;

– реализация в вузе инновационных технологий обучения;

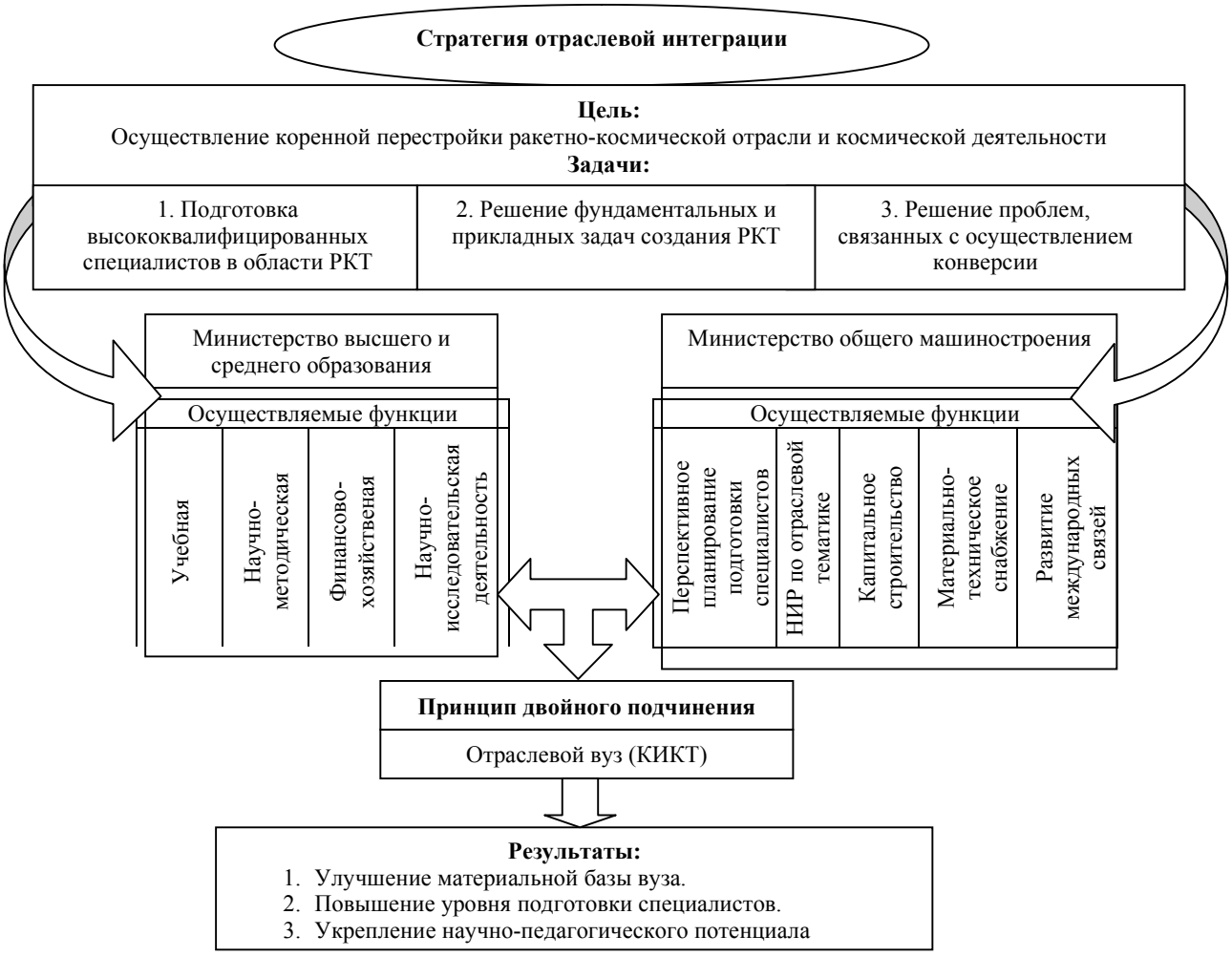


Рис. 2. Отраслевой вуз как объект совместного управления двух министерств (принцип двойного подчинения вуза)

– высокий уровень квалификации профессорско-преподавательского состава, в котором весомая доля принадлежит представителям производственных предприятий, отраслевых и академических НИИ;

– существенный опыт проведения фундаментальных, прикладных исследований, экспериментальных разработок по научно-техническим программам различного уровня (международным, федеральным, отраслевым, региональным) и по договорам с предприятиями и организациями, т. е. наличие значительного потенциала в частичной реализации линейной модели нововведений (ФИ–ПИ–ОКР);

– наличие инновационной инфраструктуры, т. е. совокупности взаимосвязанных и взаимодополняющих подразделений, объединенных в соответствующие функциональные блоки, обеспечивающие проведение совмещенных с обучением научно-исследовательских и прикладных работ.

Университет входит в состав ассоциации «Национальный объединенный аэрокосмический университет», являющейся инновационной структурой высшего аэрокосмического образования Российской Федерации и объединяющей 9 родственных аэрокосмических вузов России.

Накопленный в СибГАУ опыт инновационно ориентированной образовательной и научной деятельности, развитая система непрерывной подготовки, широкая сеть стратегических партнеров университета в лице научно-исследовательских институтов КНЦ СО РАН, отраслевых НИИ и наукоемких производственных структур, устойчивые международные связи с рядом зарубежных вузов и научных центров характеризуют СибГАУ как инновационно ориентированный университет аэрокосмического профиля.

Вхождение космической отрасли в рынок должно опираться на наличие концептуальной базы, научно-методическое обеспечение космической деятельности и адаптированный к новым условиям высококвалифицированный кадровый состав. Учитывая то, что на данном этапе перечисленные условия практически только зарождаются, необходимо подчеркнуть возрастающую актуальность укрепления и дальнейшего развития интеграционных связей ОПК с аэрокосмическими вузами. Аэрокосмическим вузам по праву принадлежит роль инициатора и равноправного участника подобной интеграции, что позволит привнести накопленный ими образовательный, научно-исследовательский, организационно-управленческий опыт и инновационный потенциал в развитие ОПК. При этом подъем отрасли, несомненно, повлечет за собой положительную динамику развития аэрокосмического образования в целом.

Библиографические ссылки

1. Послание Федеральному собранию Российской Федерации 12 ноября 2009 г. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Президента России. 2009. URL: http://www.kremlin.ru/transcripts/5979.html (дата обращения: 15.07.2010).

2. Кузьмин В. Президент учил жизни таланты [Электронный ресурс] // Рос. газета. 2010. № 5136. URL: http://www.rg.ru/2010/03/19/vstrecha-olimp.html (дата обращения: 19.04.2010).

3. Кокшаров А. Силиконовая Германия // Эксперт. 1999. № 23. С. 20.

4. Аэрокосмический вуз Сибири: к 40-летию Сибирской аэрокосмической академии имени академика М. Ф. Решетнева / Г. П. Беляков, В. В. Филатов, Т. Г. Алексеевич [и др.] ; под общ. ред. Г. П. Белякова ; Сиб. аэрокосмич. акад. Красноярск, 2000.

O. B. Voeykova

INTEGRATION BETWEEN HIGHER SCHOOL AND INDUSTRY IN REGION AS THE FACTOR OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE REGION

The article considers the problems of integration between Higher School and Industry in innovative development of a region. Retrospective analyze of co-evolution between defense industry complex and Higher School in the name of profile airspace University of Krasnoyarsk region, is carried out for estimation of dynamic of this integrative interaction.

Keywords: innovative development, integration, defense industry, higher school, co-evolution.

© Воейкова О. Б., 2010

УДК 519.866

В. А. Коноплев, А. В. Медведев

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСГРАНИЧНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ[1]

Описывается подход к моделированию взаимодействия региональных экономических агентов на основе экономико-математической модели оптимального управления, которая учитывает присутствие на региональном рынке совокупного потребителя и совокупного производителя. Формулируется оптимизационная задача управления указанным взаимодействием.

Ключевые слова: экономические агенты, задача оптимизации, многокритериальность.

Современная экономика России становится инновационной, связанной с разработкой, внедрением и применением новшеств, внедрением нанотехнологий, преобразованием социально-экономических механизмов хозяйствования. Тенденции развития экономики России показывают ее интеллектуализацию, которая является имманентным свойством конкурентоспособных предприятий. Это означает, что передовые предприятия переходят от мобилизационного (ресурсного) типа экономического развития к инновационному. На этих предприятиях формируется новая инновационная модель экономики, в которой доминирует интеллектуальная собственность (человеческий капитал), элементы информационных, коммуникационных и нанотехнологий.

Основными составляющими экономики инноваций являются:

– инновационное предпринимательство, базирующееся на современных наукоемких производственных и информационных технологиях, в частности, нанотехнологиях;

– высокотехнологичные, наукоемкие инновационные проекты, имеющие статус объектов интеллектуальной собственности;

– венчурное финансирование инновационных проектов [1].

Рассмотрим трансграничную задачу социально-экономического взаимодействия участников инновационных проектов, реализующих инновационные проекты: предпринимателя, инвестора и собственника интеллектуального продукта, владеющего инновационным ноу-хау. Предположим, что инвестор и предприниматель покупают интеллектуальный продукт у собственника, а затем согласуют между собой производственный контракт. Собственник идеи продает ее либо в виде фиксирования своих прав через патенты, либо в виде участия в собственности (бизнесе) через акционирование.

Опишем основные виды денежных потоков затрат и выгод каждого из принимающих решение лиц (ЛПР).

Инвестор имеет затраты на покупку патента, вложение денег в основные производственные фонды; доходы – выручка от реализации продукции, дивиденды, налаженный бизнес и др.

Предприниматель имеет затраты на покупку патента, организацию производства; доходы – выручка от реализации продукции, дивиденды и др.

Собственник интеллектуального продукта имеет затраты: на правообладание; доходы – дивиденды.

Базовый набор характеристик производственных активов. Для достижения разумного компромисса между уровнем точности и сложности математических моделей при моделировании такой сложной системы, как экономика наноинноваций, разумно использовать минимальный, базовый набор технико-экономических показателей (ТЭП) используемых производственных активов (количество, производительность, срок службы и стоимость) и производимой на них продукции (стоимость единицы продукции и спрос на нее). Такой набор числовых характеристик активов обладает рядом важнейших свойств, позволяющих с системных позиций единообразно и просто моделировать региональные экономические процессы. Указанные характеристики взаимно независимы и универсальны, так как могут быть использованы при описании функционирования активов для любого рода экономической деятельности. Рассчитанные на их основе денежные потоки доходов и затрат, ограничения экономической деятельности, а также показатели эффективности имеют единый, стоимостный измеритель и позволяют сопоставлять экономически разнородные производственные, инвестиционные и финансовые процессы. При этом обеспечивается сравнимость показателей эффективности деятельности различных экономических агентов в системе.

За счет использования ТЭП и рыночных характеристик активов появляется возможность за основу предсказания будущих денежных потоков (ДП) брать объективные характеристики существующих реальных активов, которые позволяют более гибко рассчитывать возникающие в результате деятельности экономических агентов денежные потоки, в отличие, например, от использования производственных функций или других агрегированных экономических показателей деятельности. При этом достаточно реалистичным представляется подход, при котором перечисленные выше показатели реальных активов, задействованных в региональных социально-экономических проектах, осредняются на соответствующие характеристики конкурентоспособных отраслей региона, а те, в свою очередь, агрегируются на ТЭП крупных направлений его экономической деятельности. Иными сло-

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (НИР НК-136П/3).

вами, каждое макроОПФ, как и отдельные предприятия, характеризуется теми же ТЭП: стоимостью, сроком службы, ценой единицы продукции, производительностью, а также спросом, который предполагается удовлетворять данным производственным подразделением региона. В качестве таких ТЭП берутся данные региональной экономической статистики по видам экономической деятельности, либо аналогичные данные по другим регионам, либо средние значения показателей соответствующих предприятий. Это позволяет на этапе предварительной оценки региональных инвестиционных проектов достичь компромисса между уровнем детализации и соответствия получаемых результатов законам функционирования рыночной экономики.

Базовый набор экономических ресурсов. Для достижения своих целей система «инвестор–обобщенный производитель–поставщик оборудования» может использовать реальные (здания, сооружения, машины, оборудование, запасы сырья, материалов, труд, землю и т. п.) и финансовые (инвестиции, налоги, трансферты, дотации, займы, ценные бумаги и т. п.) экономические ресурсы. Экономические агенты осуществляют привлечение как собственных, так и заемных средств. В первом приближении, учитывая предварительность анализа, заемные средства можно не рассматривать, трактуя их как составляющие денежных потоков по инвестиционной деятельности с учетом дополнительных процентных затрат. В данной работе, во избежание излишней детализации описания происходящих процессов, также не учитываются затраты на приобретение оборотных активов, а также финансовые потоки, связанные с выпуском ценных бумаг и выплатой дивидендов.

На основе приведенных выше особенностей региональной экономики, а также общей характеристики процесса регионального экономического развития сформулируем основную задачу региона. Предположим, что контракт между лицами, принимающими решения (ЛПР), согласуется следующим образом: инвестор вносит инвестиции, производитель возвращает вложенные средства инвестору в виде налаженного (организованного) бизнеса или другими, предусмотренными договором, способами. Собственник идеи участвует в будущих денежных потоках по проекту в качестве акционера, т. е. получая дивиденды. При этом требуется определить объемы инвестиций в производственный сектор региона, платежей в бюджет региона за оборудование и производственные площади, а также объемы продаж по каждому виду продукции в период производства, при которых достигается максимальное значение критерия инвестора за заданный интервал времени. При этом сумма всех инвестиций не должна превышать некоторой заданной величины, а сумма всех платежей должна быть не меньше стоимости оборудования и производственных площадей. В случае решения задачи оптимизации критерием оптимальности может быть, например, максимизация собственных средств производителя (инвестора). Если производитель будет иметь максимум, то ему будет чем расплатиться с инвестором, а также договориться с собственником интеллектуальной идеи о контракте.

В указанной постановке задача может быть рассмотрена как модификация модели, изложенной в работе [2], имеющей следующую содержательную формулировку. Рассматривается план производства нескольких видов продукции с известными прогнозными значениями спроса по каждому ее виду. Требуется определить объемы внешних инвестиций, осуществляемых инвестором в заданный период времени, платежей поставщику за оборудование, а также объемы продаж по каждому виду продукции в период производства, при которых стоимость инвестиционного проекта (ИП) по критерию чистой приведенной стоимости за определенный интервал времени будет наибольшей. При этом сумма всех инвестиций не должна превышать некоторой заданной величины, а сумма всех платежей должна быть не меньше некоторой заданной величины, включающей стоимость оборудования и другие затраты. В применении к исследуемой задаче оптимального управления трансграничными социально-экономическими взаимодействиями предполагаются выполненными следующие предпосылки.

1. Текущие затраты исчисляются в процентном отношении от средней стоимости реализации продукции. Остальные затраты (например, покупка сырья, оборудования, аренда помещения и др.) считаются заданными, фиксированными величинами для предпринимателя.

2. Инвестором должна быть осуществлена производителю серия обязательных платежей, не превосходящих в течение некоторого периода t_1 заданных величин $\rho_1(t)$. Стоимость производственных площадей и оборудования выплачивается производителем поставщику в течение периода t_2 сборки оборудования, причем платежи в течение периода времени t_2 не меньше фиксированных сумм $\rho_2(t)$. Величины t_i и $\rho_i(t) > 0$ $(t = 0, \ldots, t_i - 1;\ i = 1;\ 2;\ 0 \le t_1 \le t_2 \le T^1)$ определяются юридическими условиями договоров между инвестором, поставщиком оборудования и производителем. При этом предполагается, что $\sum_{t=0}^{t_1-1} \rho_1(t) < I_0$, $\sum_{t=0}^{t_2-1} \rho_2(t) < \bar{c}$, где I_0 – общая сумма инвестиций; $\bar{c}$ – суммарная величина стоимости производственных площадей и оборудования и постоянных затрат.

3. Моменты завершения внешнего инвестирования и начала производства совпадают: $T^1 = T^2$. Здесь T^1, T^2 и T – соответственно моменты окончания инвестирования, начала производства и срок действия ИП.

4. По истечении периода T действия ИП сформированный по нему бизнес передается инвестору в качестве оплаты за инвестиции.

Первая предпосылка отвечает принятой в бухгалтерском учете практике оценивания затрат как доли от стоимости (себестоимости) производимой продукции. Вторая предпосылка продиктована юридическими условиями договоров между участниками венчурного проекта. Третья предпосылка служит для упрощения моделирования и может быть исключена.

Будем рассматривать отчетные бухгалтерские показатели (прибыль, объем продаж и т. п.) на конец соответствующего периода $(t;\ t+1)$ $(t = T^1, \ldots, T-1)$, а производственные (выпуск продукции по каждому виду) – на начало. Кроме того, полагаем, что значения этих показателей фигурируют в их денежном (а не натуральном) измерении.

Для решения описанной задачи используется метод дисконтирования денежных потоков с учетом разбиения времени реализации проекта на этапы: этап покупки основных производственных фондов (ОПФ); этап производства – с целью выделения денежных потоков от инвестиционной и операционной деятельности. Прокомментируем кратко предлагаемую содержательную постановку задач.

1. Прогнозный спрос F_j на продукцию j-го типа в момент t известен и меньше проектной производительности ОПФ.

2. Текущие затраты исчисляются в процентном отношении от стоимости реализации и включают все затраты.

3. Инвестиционный проект реализуется в два этапа – период покупки и сборки ОПФ ($t = 1, ..., T^1$) и период производства ($t = T^1, ..., T-1$).

4. Все экономические показатели рассчитываются на конец соответствующего периода (t; $t+1$) ($t = t_1; T-1$).

5. Инвестиции не ниже платежей за ОПФ.

6. Амортизация начисляется линейно, начиная с момента времени $t = T^1$.

Математическая постановка задачи имеет вид многошаговой задачи линейного программирования:

$$
\begin{gathered}
x_1(t+1) = x_1(t) + u_2(t) \quad (t = 0, ..., T^1 - 1); \\
x_2(t+1) = x_2(t) + u_1(t) \quad (t = 0, ..., T^1 - 1); \\
x_1(t+1) = x_1(t) \quad (t = T^1, ..., T-1); \\
x_2(t+1) = x_2(t) \quad (t = T^1, ..., T-1); \\
x_1(0) = 0,\ x_2(0) = 0; \\
-u_1(t) + u_2(t) \le -c_0; \quad -u_2(t) \le -b_0 \quad (t = 0); \\
-u_1(t) + u_2(t) \le 0 \quad (t = 1, ..., T^1 - 1); \qquad (1) \\
-x_1(t) - u_2(t) \le -c_1;\ x_2(t) + u_1(t) \le K_0 \ (t = T^1 - 1); \\
u_1(t) \ge 0,\ \ u_2(t) \ge 0 \quad (t = 0, ..., T^1 - 1); \\
0 \le u_j(t) \le g_j(t) \quad (j = 1, ..., m;\ t = T^1, ..., T-1); \\
J = -\sum_{t=0}^{T^1-1} \frac{u_1(t)}{(1+r)^t} + \omega \sum_{t=T^1}^{T-1} \frac{\sum_{j=1}^{m} u_j(t)}{(1+r)^t} \to \max,
\end{gathered}
$$

где $u_1(t)$ и $u_2(t)$ – инвестиции и платежи за ОПФ в момент $t+1$, $x_1(t)$; $x_2(t)$ – суммы выплат за ОПФ и инвестиции за период [1; t–1] соответственно ($t = 0, ..., T^1 - 1$); V_j, $u_j(t)$ и $F_j(t+1)$ – производительность, выпуск и спрос по продукции j-го типа в момент $t + 1$ соответственно ($j = 1, ..., m$; $t = T^1, ..., T-1$); c_0, c_1 – соответственно стоимость производственных площадей и ОПФ; r – ставка дисконтирования; m – число видов продукции; b_0 – минимальный начальный взнос за ОПФ; K_0 – максимальная сумма инвестиций за весь период действия ИП; σ – средняя доля себестоимости продукции от ее цены (без учета НДС); $\omega = (1-\alpha_3)(1-\sigma)$; $g_j(t) = \min(F_j(t+1), V_j)$ ($j = 1, ..., m$; $t = T^1, ..., T-1$); α_3 – ставка налога на прибыль; J – критерий инвестора.

Для задачи, описываемой вышеприведенной моделью, справедлива следующая теорема существования.

Теорема. Если выполняются условия

$$
\begin{gathered}
I_0 \ge \bar{c},\ \rho_1(t) \ge \rho_2(t)\ (t = 0, ..., t_1), \\
\bar{g}_j = \max_{t=T^1, ...} g_j(t) < +\infty\ (j = 1, ..., m);\ r > 0, \qquad (2)
\end{gathered}
$$

то в задаче (1) существует решение.

Доказательство теоремы базируется на использовании теоремы Вейерштрасса о существовании нижней и верхней границы непрерывной функции, заданной на непустом компакте, которое более подробно рассмотрено в работе [2]. Существование решения при условиях (2) позволяет исследовать указанную задачу как теоретическими, так и численными методами. В работе [2] приведены результаты теоретического анализа поставленной задачи с помощью z-преобразования, в частности, получены оценки значений целевого критерия в зависимости от параметра $z = 1 + r$. В работе [3] предложен оптимизационный алгоритм решения приведенной задачи, позволяющий эффективно разрабатывать инвестиционную политику (оптимальный график и объем инвестиций) и инновационную политику (согласование контрактов производителя, потребителя и поставщика оборудования) для большого количества (десятков) ОПФ как в однокритериальной, так и многокритериальной постановках. Следует отметить, что в многокритериальной постановке решение предложенной задачи позволяет найти ее Парето-множество, т. е. учесть интересы нескольких участников данного инвестиционного проекта по разработке и запуску в производство инновационной продукции на базе новых технологий ее производства. Решение исходной задачи оптимизации трансграничных взаимодействий заключается в определении таких параметров, как диапазоны допустимых значений критериев, объемы и денежные потоки инвестиций, выручка от реализации продукции и услуг, налоговые отчисления для перечисленных выше социально-экономических структур.

В описанной постановке ЛПР имеет возможность принимать обоснованные управленческие решения по отбору и согласованию интересов различных экономических агентов экономики наноинноваций, таких как инвесторы, предприятия, малый бизнес, отрасль, обобщенный производитель, обобщенный потребитель, преимущественно на допроизводственном этапе. В случае, если ЛПР – региональный управляющий центр, оптимальное решение задачи согласования контракта способствует повышению инвестиционной привлекательности региона, так как позволяет на допроизводственном этапе найти компромисс интересов инвестора, вкладывающего свои средства в производственный сектор региона, и регионального управляющего центра, получающего налоговые потоки как на допроизводственном, так и на производственном этапах реализации региональных инвестиционных проектов.

Полученные зависимости показателей эффективности проекта от его параметров будут определять законы функционирования экономики инноваций в виде направлений и структуры денежных потоков, возникающих при перечисленных социально-экономических взаимодействиях. В такой постановке может быть решена новая для теории и практики задача эффективного функционирования экономики нанотехнологий.

Библиографические ссылки

1. Коноплев В. А. Экономика инноваций (наноэкономика): теория, региональные модели. Кемерово : Кузбассвузиздат, 2007.

2. Медведев А. В., Победаш П. Н. Теоретический анализ задачи оптимального планирования инновационных проектов // Вестн. унив. комплекса. Вып. 6(20) ; НИИ систем управления, волновых процессов и технологий. Красноярск, 2005. С. 96–104.

3. Медведев А. В., Победаш П. Н. Модель и оптимальный алгоритм согласования контракта между производителем, инвестором и поставщиком оборудования // Вестн. Краснояр. гос. ун-та. Вып. 9. 2006. С. 188–192.

V. A. Konoplev, A. V. Medvedev

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL OF TRANSBORDER SOCIOECONOMIC INTERACTIONS

The article describes an approach to interaction modeling of regional economic agents based on the economic and mathematical model of optimal control that focuses upon representation of aggregate consumers and aggregate producers in the regional market. An optimization problem is formulated by the specified interaction.

Keywords: economic agents, optimal control problem, multycriterial optimization.

© Коноплев В. А., Медведев А. В., 2010

УДК: 338.22.01

В. А. Кузнецова, С. С. Семенов

СУЩНОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматриваются терминологические вопросы экономической политики. Уточнено понятие экономической политики, ее состав, предложена классификация.

Ключевые слова: экономическая политика, экономическая стратегия, состав экономической политики, классификация.

Одним из важнейших аспектов управления предприятием является экономическая политика. В условиях постоянной конкурентной борьбы, изменчивости внешней среды, необходимости максимально эффективно осуществлять предпринимательскую деятельность экономическая политика предприятия приобретает все большее значение. Однако этой проблеме уделяется недостаточно внимания не только на практике, но и в теории.

Так, изучение научной литературы показало, что даже в понятийном аппарате до сих пор не сложилось единого мнения. Поэтому в первую очередь необходимо исследовать терминологические проблемы. Остановимся на предмете нашего исследования – экономической политике (табл. 1).

Проведенный терминологический анализ выявил, что до сих пор нет устоявшегося понятия экономической политики. Однако принято выделять государственный уровень и уровень предпринимательских структур.

По мнению большинства авторов, государственная экономическая политика представляет собой генеральную линию действий, комплекс экономических мер или мероприятий в области управления экономикой. Субъектами такой политики являются либо государство, либо правительство. Ряд авторов подчеркивают, что экономическая политика государства должна проводиться в соответствии с целями, задачами и интересами страны, поскольку в ней находит непосредственное отражение реализуемый правительством страны курс: эффективное управление государственным хозяйством для достижения поставленных целей.

К государственным целям авторы относят как создание и поддержание условий стабильности, уравновешенности экономической ситуации, так и создание экономической свободы, экономической справедливости, максимизацию общественного благосостояния, социальную защищенность. Самой универсальной целью государства, по мнению Б. А. Райзберга, следует считать содействие достижению высокого уровня экономики, росту социально-экономической эффективности в масштабе хозяйства страны.

Экономическая политика реализуется через законодательство, регулирование доходов и расходов, формирование и исполнение государственного бюджета, налоговое регулирование, управление денежным обращением, воздействие на курс национальной валюты, структуру государственных доходов и расходов, регулирование таможенных пошлин и квот. Она включает в себя институциональную, структурную, инвестиционную, финансово-кредитную, социальную, внешнеэкономическую, научно-техническую, налоговую и бюджетную политику.

В современном экономическом словаре отмечается, что экономическая политика государства во многом ситуационно обусловлена. Она непосредственным образом диктуется унаследованным прошлым, сложившейся в стране экономической обстановкой, ранее принятыми решениями и обязательствами. В значительной степени политика предопределена внутристрановой и мировой конъюнктурой – состоянием хозяйства и рынка, уровнем экономической активности, тенденциями роста и спада, спросом и предложением на товары и услуги [1].

Важным аспектом государственной экономической политики является регулирование сочетания централизованного и демократичного характера в управлении и использовании экономических ресурсов. Так, в «Словаре современной экономической теории Макмиллона» отмечается, что политика может располагаться в широком диапазоне – от абсолютного невмешательства в экономику (доктрина невмешательства государства в экономику) до жесткого управления ею (государство с плановой экономикой). Соответствующий механизм реализа-

Таблица 1

Трактование экономической политики

Источник	Определение
Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Инфра-М, 2007. (Библиотека словарей «Инфра-М»)	Экономическая политика – проводимая государством, правительством генеральная линия действий, система мер в области управления экономикой, придания определенной направленности экономическим процессам в соответствии с целями, задачами, интересами страны. Включает институциональную, структурную, инвестиционную, финансово-кредитную, социальную, внешнеэкономическую, научно-техническую, налоговую, бюджетную политику
Большая Советская энциклопедия : в 30 т. Т. 20 / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е. изд. М., Сов. энцикл., 1975	Экономическая политика – система экономических мероприятий, осуществляемых государством в интересах господствующего класса в досоциалистических формациях, в интересах всего общества – при социализме; область экономической науки
Словарь современной экономической теории Макмиллона. М. : Инфра-М, 1997	Экономическая политика – поведение государства в отношении экономики страны, характер которой может располагаться в широком диапазоне – от абсолютного невмешательства в экономику (доктрина невмешательства государства в экономику) до жесткого управления ею (государство с плановой экономикой)
Макаров А. С. // Финансы и кредит. 2008. № 10	Экономическая политика – совокупность мер в области производства, распределения, обмена, потребления, накопления, экспорта, импорта продуктов труда
Зайцев Л. Н. Краткий словарь экономиста. 4-е изд., доп. М. : Инфра-М, 2008. (Б-ка малых словарей «Инфра-М»)	Экономическая политика – совокупность организационно-управленческих мероприятий экономического развития, разрабатываемых и утверждаемых для выполнения целей и задач на различных уровнях управления, начиная от предприятия (повышение уровня конкурентоспособности производства и товара) и вплоть до правительственного уровня (налоговая и инвестиционная политика и т. п.)
Гукасьян Г. М. Экономика от «А» до «Я». Тематический справочник. М. : Инфра-М, 2007	Экономическая политика – совокупность мероприятий, планируемых к осуществлению в определенный промежуток времени для достижения поставленных целей
Экономическая теория : учебник. Изд. испр. и доп. / под общ. ред. В. И. Видяпина, А. И. Добрынина. М. : Инфра-М, 2007	Экономическая политика предприятия – комплекс мер, направленных на достижение определенных целей хозяйствующего субъекта
Шапиро Д. В. и др. Управление проектами : учебник для вузов. СПб. : Два ТрИ, 1996	Экономическая политика предприятия – совокупность экономических мер, предпринимаемых предприятием для целенаправленного и планомерного решения достаточно четко осознаваемых и формулируемых задач
Ойхман Е. Г., Попов Э. В. Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационных технологий. М. : Финансы и статистика, 1997	Экономическая политика предприятия – функция экономических порядков, совокупности условий, включающих факторы объективные (потребности, ресурсы и технологии) и социальные и законодательные и др.
Ойкен В. Основные принципы экономической политики : пер. с нем. / общ. ред. Л. И. Цедилина и К. Херрманн-Пиллата. М. : Прогресс, 1995	Экономическая политика предприятия – совокупность установленных приемов, целей, технологий достижения целей и способов использования технологий для достижения целей
Глушков И. Е. Управленческий учет на современном предприятии. Настольное компактное пособие по управленческому учету. М. : КноРус ; Новосибирск : ЭКОР-книга, 2004	Экономическая политика предприятия представляет собой разработку и исполнение внутри предприятия правил, позволяющих выпускать востребованную обществом продукцию, работы, услуги с минимально возможными затратами материальных и трудовых ресурсов при сохранении требований к качеству, безопасности и цене

ции выбранной политики должен обеспечивать развитие национальной экономики как единой системы.

Анализ определений экономической политики на уровне предприятий выявил разные взгляды на этот термин. Согласно ряду определений, экономическая политика представляет собой совокупность мер или мероприятий, предпринимаемых фирмой для решения своих задач. Экономический характер этих мероприятий отмечает Д. В. Шапиро. Наиболее полно значение экономической политики раскрывает П. Н. Зайцев. Он указывает на организационно-управленческий характер мероприятий, подчеркивает их направление экономического развития. С другой точки зрения, экономическая политика представляет собой разработку и исполнение внутренних правил, совокупность установленных приемов, целей, технологий, способов.

Обе вышеприведенные точки зрения свидетельствуют, что экономическая политика тесно связана с целями и задачами предприятия. Так, по мнению П. Н. Зайцева, экономическая цель предприятия заключается в повышении уровня конкурентоспособности производства и товара, а Е. П. Глушков приоритетной экономической целью считает снижение затрат при сохранении качества и безопасности продукции.

Однако если первый взгляд на экономическую политику связан с совокупностью мероприятий фирмы, то второй подчеркивает необходимость в разработке правил и приемов, которые в дальнейшем реализуются в виде мер для достижения целей предприятия.

Проведенный терминологический анализ выявил признаки, характеризующие экономическую политику предприятий:

– экономическая политика подразумевает наличие четко сформулированных целей;

– экономическая политика направлена на управление ресурсами хозяйствующего субъекта;

– экономическая политика затрагивает различные сферы управления хозяйством (экономики) фирмы.

Политика всегда подразумевает наличие власти. Каждый субъект власти осуществляет выбор линии поведения, в рамках которого реализует властные отношения с объектом управления. Эффективность политики зависит от того, способна ли она достичь поставленных целей и насколько рационально при этом используются имеющиеся ресурсы. Наличие альтернативных методов управления обусловливает проблему выбора. Задача выбора состоит в том, чтобы политика была наиболее эффективной.

Поэтому, на наш взгляд, необходимо ввести еще один признак, присущий экономической политике: экономическая политика подразумевает выбор из альтернативно возможных методов управления, обеспечивающих наиболее рациональное достижение целей.

В соответствии с вышеизложенным предлагается уточнить понятие экономической политики. Так, под экономической политикой мы предлагаем понимать целенаправленный выбор линии поведения в области экономики. Результатом формирования экономической политики является пакет документов (приказов, инструкций и т. п.), исполнение которых обеспечивает достижение поставленных целей.

Анализ научных источников показал, что не сложилось единого мнения относительно состава экономической политики предприятия. Так, Г. Я. Гольдштейн [1] считает важной задачей управления фирмы разработку ее политики. Он выделяет ряд направлений политики организации: политику приобретения (сырья, материалов, услуг и т. д.), инвестиционную политику, политику запасов, политику в области оборудования, кадровую политику, финансовую политику, производственную политику (система и тип производства, размер партий, технологические процессы, оперативное управление), политику сбыта (цены, распределение, реклама), политику отчетности о деятельности фирмы.

В составе экономической политики фирмы Р. Яблукова выделяет следующие направления: производственное, коммерческое, инвестиционное, финансовое и др. Каждое из направлений представляет собой форму реализации экономической стратегии фирмы в различных сферах. Например, финансовая политика – это форма реализации экономической стратегии фирмы в сфере финансов [2].

Аналогичный подход можно встретить у И. А. Бланка [3]. По его мнению, корпоративная стратегия реализуется посредством финансовой, маркетинговой, производственной, инновационной стратегии и стратегии персонала. Реализация стратегии осуществляется через политику. Так, финансовая политика представляет собой форму реализации финансовой философии и финансовой стратегии предприятия.

Необходимо обратить внимание на то, что экономическую политику авторы связывают с экономической стратегией предприятия. Причем, по мнению И. А. Бланка и Р. Яблуковой, экономическая стратегия фирмы реализуется с помощью экономической политики.

По поводу соотношения политики и стратегии также нет единого мнения. В энциклопедическом словаре «Экономика» подчеркивается, что стратегию часто отождествляют с политикой, однако граница между ними существенна [4]. Политика определяет направления и методы деятельности предприятия, его стиль и поведение, в то время как стратегия – это искусство руководства предприятием, общий план поведения фирмы. Иными словами, стратегия является планом поведения фирмы, в соответствии с которым определяется экономическая политика. Другого мнения придерживается автор учебника «Менеджмент» И. Н. Герчиков. Он считает, что разработка экономической политики фирмы предполагает определение целей деятельности фирмы, а также стратегии ее развития на перспективу, исходя из оценки потенциальных возможностей фирмы [5].

Поскольку под экономической политикой предприятия мы предлагаем понимать целенаправленный выбор линии поведения фирмы, представляется целесообразным считать ее инструментом реализации стратегии.

С целью комплексного подхода к формированию экономической политики предприятия предлагается исследовать ее состав, адекватно элементам экономических процессов деятельности организации, к которым относятся активы, источники финансирования, финансовые результаты, техника и технологии, персонал, спрос, сбыт, а также другие элементы и их совокупности. В связи с

этим целесообразно выделить следующие элементы экономической политики: финансовую, производственную, инновационную, кадровую и маркетинговую политики.

Экономическая политика – сложный феномен, ее состав крайне неоднороден и поэтому вызывает дискуссии. В частности, в экономической литературе нет единого мнения по поводу соотношения экономической и производственной политики. По нашему мнению, при формировании экономической политики необходимо учитывать экономическую эффективность от выбора возможных подходов к управлению производственными процессами. В рамках данного исследования производственная политика рассматривается как один из элементов экономической политики, так как для рационального управления хозяйством организации необходимо, чтобы затраты, связанные с осуществлением производственного процесса, мероприятия по снижению брака, простоев в производстве, были экономически обоснованными.

В свою очередь, структура каждого элемента может быть однородной или неоднородной (табл. 2). Однородные элементы требуют комплексного подхода к их исследованию. К ним относятся кадровая и инновационная политики. Нельзя уделять внимание одним сторонам кадровой политики, минуя другие. В таком случае значительно снижается эффективность кадровой политики в целом. Если предприятие тратит средства на привлечение высококвалифицированных специалистов, но не уделяет внимания повышению уровня квалификации, то уровень профессиональной подготовки кадров падает. Аналогично кадровой политике, инновационная политика также является однородной. Максимальная эффективность инновационной политики будет достигнута при условии комплексного внедрения инновации во все этапы производства.

В составе неоднородных элементов имеются отдельные направления, связь между которыми не является жесткой. Примером является маркетинговая политика. Формируя ее, предприятие может сочетать разные подходы. Например, предприятие может выбрать приоритетной для себя политику сбыта. Остальные направления маркетинговой политики могут ее дополнять, повышая эффективность. Но отсутствие необходимого количества ресурсов в этих направлениях не войдет в конфронтацию с политикой сбыта.

Кроме политики сбыта, маркетинговая политика включает товарную, ценовую и коммуникативную политики.

К неоднородным элементам относятся также финансовая и производственная политики. В финансовой политике выделяют налоговую, дивидендную, инвестиционную политики, политику финансирования, учетную, амортизационную политики, политику управления оборотным капиталом. Производственная политика включает технологическую и техническую политики.

Немаловажное значение имеет классификация экономической политики, так как она позволяет принимать во внимание альтернативные методы управления фирмой. Анализ научной литературы показал, что существуют разнообразные классификации экономической политики предприятий, затрагивающие различные стороны управления экономикой.

Так, по направлению действия выделяют внутреннюю и внешнюю политику. Внутренняя экономическая политика организации направлена на отношения, процессы и явления, происходящие внутри самой организации. Внешняя экономическая политика направлена на деятельность организации во внешней среде: на потребительских и финансовых рынках, с другими институциональными единицами [6].

Этот же признак В. А. Слепов, Е. И. Громова и И. Т. Кери применяют для классификации финансовой политики компании. Внутренняя финансовая политика направлена на оптимизацию финансовых отношений и процессов, происходящих внутри компании. Внешняя финансовая политика направлена на оптимальное использование возможностей различных сегментов национального и международного финансовых рынков для развития компании [7]. Аналогичное мнение имеют В. А. Щербаков и Б. А. Приходько [8].

Экономическая политика, отмечает И. Х. Зиннатов, что может быть защитной или наступательной в зависимости от влияния организации на свое экономическое состояние. Защитная экономическая политика организации является политикой «оборонительных» действий. Она предусматривает сокращение всех видов расходов, рест-

Таблица 2

Состав экономической политики

Структура элемента	Элементы	Направления
Неоднородная	Финансовая политика	Дивидендная политика Инвестиционная политика Налоговая политика Учетная политика Амортизационная политика Политика финансирования Политика управления оборотным капиталом
	Маркетинговая политика	Товарная политика Ценовая политика Политика сбыта Коммуникативная политика
	Производственная политика	Технологическая политика Техническая политика
Однородная	Кадровая политика	
	Инновационная политика	

руктуризацию организации, закрытие и распродажу убыточных подразделений, оборудования, сокращение рыночного сегмента и сбыта продукции, распродажу товаров по сниженным ценам. Наступательная экономическая политика организации предполагает активные действия: реализацию прогрессивных стратегических концепций, реинжиниринг бизнес-процессов, поиск новых рынков сбыта, модернизацию и внедрение новых технологий и другие мероприятия.

Ряд авторов, анализируя хозяйственную деятельность предприятия, выделяют такой признак классификации, как временной горизонт [7–10]. Но областью применения этого признака у них является финансовая политика фирмы, которая может быть долгосрочной или краткосрочной. Первая направлена на достижение долгосрочных финансовых целей предприятия, вторая – на решение наиболее острых текущих финансовых проблем.

Этот признак классификации целесообразно применить также и к экономической политике. Перед каждым предприятием стоит ряд текущих задач, которые необходимо решать в краткосрочном периоде (например, определение оптимального уровня текущей ликвидности, запасов для производства и пр.) и в долгосрочном (привлечение долгосрочных инвестиций, определение приоритетных направлений для инноваций, достижение высоких показателей рентабельности и пр.). Решение этих задач связано с эффективным управлением имеющимися у предприятия ресурсами. Необходимо гармонично сочетать краткосрочные и долгосрочные экономические мероприятия фирмы. Таким образом, необходимо различать краткосрочную и долгосрочную экономическую политику.

В экономической литературе встречается такой признак классификации, как характер управления. Обычно его применение ограничивается инвестиционной [3] и дивидендной политикой [3; 7; 11]. В зависимости от характера управления политика бывает агрессивной, консервативной и умеренной. Критерием для применения этого классификационного признака является уровень риска. Так, при агрессивной дивидендной политике предприятие выплачивает высокие дивиденды. Такое поведение фирмы уменьшает величину ее собственных средств, но обеспечивает высокую рыночную стоимость акций, формирование положительного имиджа фирмы у потенциальных инвесторов. При агрессивной инвестиционной политике предприятие выбирает более рисковые проекты, но и с большей доходностью. При консервативном типе политики предприятие минимизирует свои риски. При умеренной – фирма придерживается среднего уровня риска.

Рассмотренный признак классификации, на наш взгляд, можно применить и к экономической политике, поскольку перед каждым предприятием стоит выбор линии поведения, которая характеризуется уровнем риска и уровнем доходности. Более доходные проекты являются более рискованными. Более эффективные системы управления оказываются более затратными. Для того чтобы руководство предприятия учитывало соотношение уровня риска и доходности при принятии экономических решений, необходимо различать типы экономической политики в зависимости от характера управления: агрессивный, консервативный и умеренный.

Систематизировав приведенные выше классификации, можно сделать вывод, что они позволяют ориентироваться в многообразии такого сложного явления, как экономическая политика предприятия. Однако, по нашему мнению, возможно внести некоторые уточнения и дополнения.

В частности, наряду с агрессивным, консервативным и умеренным, целесообразно выделять компромиссный тип политики, т. е. сочетание различных направлений экономической политики, реализующихся в рамках разных ее типов. Например, агрессивная ценовая политика может сочетаться с консервативной амортизационной политикой.

В условиях нестабильности внешней среды менеджерам предприятий приходится принимать решения по внезапно возникшим вопросам. Эти вопросы появляются из-за непредсказуемого изменения внешней среды. Примером может служить резкое изменение цен на рынке. В связи с этим по признаку временного горизонта целесообразно выделить еще один тип политики – спонтанную политику.

Исследование научной литературы показало отсутствие внимания к вопросу стабильности проведения экономической политики. Некоторые направления экономической политики (например, учетную политику) можно пересматривать ежегодно из-за нестабильности законодательства, возможности применения новых (или запрещения использовавшихся ранее) методов учета. Другим направлениям экономической политики необходима стабильность. Так, для многих акционеров важна стабильность в выплате дивидендов. Они негативно относятся к частым пересмотрам дивидендной политики.

Эти аргументы выступают в пользу дополнения классификации еще одним признаком – отношением к окружающей среде, согласно которому необходимо различать активную и пассивную экономическую политику. При активной политике предприятие может часто менять ее характер. Пассивная политика предприятия остается стабильной на протяжении долгого периода времени. Выбор зависит от состояния внутренней и внешней среды и от предпочтений менеджмента.

Подводя итог, представим классификацию экономической политики (табл. 3).

Экономическая политика представляет собой сложный феномен. Однако несмотря на всю сложность, научно обоснованное формирование экономической политики позволяет любому предприятию эффективно осуществлять свою деятельность.

Библиографические ссылки

1. Гольдштейн И. Я. Инновационный менеджмент : учеб. пособие [Электронный ресурс] // Aup.ru : адм.-упр. портал. 1998. URL: http://www.aup.ru/books/m23/3.htm (дата обращения: 08.03.2010).

2. Яблукова Р. Финансы и их состав : учеб. пособие [Электронный ресурс] // InventTech : сайт. [б. д.]. URL: http://www.inventech.ru/lib/finances=00011.htm (дата обращения: 08.03.2010).

3. Бланк И. А. Финансовая стратегия предприятия. – Киев : Эльга : Ника-Центр, 2004.

4. Золотарев В. Г. Экономика : энцикл. словарь. Минск : Интерпрессервис : Книжный дом, 2003.

5. Герчиков И. Н. Менеджмент : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : ЮНИТИ-Дана, 2008.

6. Зиннатов И. Х. Совершенствование экономической политики организаций потребительской кооперации : дис. … канд. экон. наук : 08.00.05. Белгород, 2005.

7. Слепов В. А., Громова Е. И., Кери И. Т. Финансовая политика компании : учеб. пособие. М. : Экономистъ, 2008.

8. Щербаков В. А., Приходько Е. А. Краткосрочная финансовая политика : учеб. пособие. 2-е изд., стер. М. : КноРус, 2007.

9. Долгосрочная и краткосрочная финансовая политика предприятия : учеб. пособие / под ред. И. Я. Лукасевича. М. : Вузовский учеб., 2008.

10. Мицек С. А. Краткосрочная финансовая политика на предприятии : учеб. пособие. М. : КноРус, 2007.

11. Ковалев В. В. Введение в финансовый менеджмент. М. : Финансы и статистика, 2001.

Таблица 3

Классификация экономической политики предприятия

Признак классификации	Типы экономической политики
Направление действия	Внутренняя Внешняя
Реакция организации на свое экономическое состояние	Защитная Наступательная
Временной горизонт	Долгосрочная Краткосрочная Спонтанная
Характер управления	Агрессивная Консервативная Умеренная Компромиссная
Отношение к окружающей среде	Активная Пассивная

V. A. Kuznetsova, S. S. Semenov

THEORETICAL BASIS OF ECONOMIC POLICY: NATURE, TRENDS

Terminological issues of economic policy are considered in this article. Concept of economic policy and its structure are refined. Classification of economic policy is offered in the article.

Keywords: economic policy, economic strategy, trends of the economic policy, classification.

© Кузнецова В. А., Семенов С. С., 2010

УДК 338.24

Н. В. Сычева

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С УЧЕТОМ СПОСОБА ФИНАНСИРОВАНИЯ

Представлена методика, соответствующая основным теоретическим принципам современного инвестиционного анализа и являющаяся шагом вперед в развитии его методологии. Преимущество нового подхода обеспечивается более точным моделированием механизма обоснования и принятия инвестиционного решения. Апробация на реальном инвестиционном проекте продемонстрировала эффективность предложенной методики как алгоритма оценки доходности инвестиционной деятельности и выбора оптимального способа ее финансирования.

Ключевые слова: эффективность реальных инвестиций, способ финансирования проекта.

Концептуальной основой современных инвестиционных исследований является теоретическая модель проектного цикла. В рамках проектного цикла выделено четыре последовательных фазы: предынвестиционная, инвестиционная, операционная и ликвидационная. Чтобы избавиться от неопределенной продолжительности первой и последней фаз, введено понятие расчетного периода проекта, который обычно начинается стартом инвести-

ционной фазы и охватывает операционную фазу до получения предусмотренного проектом результата. Прогноз и анализ финансово-экономических параметров проектной деятельности, на которых строится обоснование инвестиционного решения, осуществляется в рамках расчетного периода.

Предынвестиционная фаза вынесена за рамки расчетного периода. Тем самым за пределы поля детальных исследований выведен именно тот период, на который приходится обоснование решения о реализации инвестиционного проекта, выбор способа его финансирования и создание проектного предприятия. Отмеченная схематизация обусловила ряд противоречий между методологией инвестиционных исследований и практикой инвестиционной деятельности.

Начнем с практики, точнее, рассмотрим процесс подготовки инвестиционного решения де-факто. Инициатором инвестиционного проекта может быть физическое лицо или предприятие. Выдвинув инвестиционную идею, инициатор проекта определяется с источниками ее финансирования. Это могут быть собственные ресурсы, привлеченные (консолидированные средства инвесторов – пайщиков или акционеров) и заемные средства (долгосрочный банковский кредит, размещение облигаций, лизинг, ссуды юридических лиц и государства), а также средства государственного бюджета (в виде прямых государственных инвестиций, налоговых льгот и освобождений). Выбирая источник финансирования, инициатор проекта руководствуется стремлением минимизировать индивидуальные затраты по оплате финансирования при рациональном распределении рисков.

Платой за использование заемных ресурсов являются процентные отчисления кредитору – банку, юридическому лицу, лизингодателю или держателю облигаций. Плата совокупному инвестору за привлеченные ресурсы включает не только сумму дивидендных выплат для инвесторов-акционеров, но и сумму распределенной прибыли для инвесторов-пайщиков. Дополнительной платой акционерам и пайщикам за финансирование является соответствующая их долевому участию прибыль, реинвестированная в проектное предприятие и направленная на увеличение его уставного капитала. Для инициатора проекта, ставшего одним из участников проектного предприятия, дивидендные выплаты остальным инвесторам, а также рост уставного капитала, приходящийся на их долю, представляются отрицательными денежными потоками, затратами по привлечению финансовых средств.

В плане распределения рисков привлеченные средства принципиально отличаются от заемных. Заемные средства предоставляются на условиях возвратности и срочности, бремя инвестиционного риска не распределяется на кредитора. В случае привлечения средств все виды риска по реализации инвестиционного проекта распределяются между акционерами и пайщиками пропорционально долевому участию. Чем выше уровень рисков, тем предпочтительнее привлеченные средства, поскольку позволяют инициатору проекта рационально распределить негативные последствия их реализации.

Если инициатор проекта отдает предпочтение собственным или заемным средствам финансирования проекта, он может реализовать проект на базе своего предприятия (ранее действующего или вновь созданного). Если же инициатор проекта решает привлечь средства, т. е. выбирает паевое или акционерное финансирование, для реализации проекта создается паевое (акционерное) предприятие, участники которого становятся инвесторами данного проекта. Новое предприятие будет выступать в роли предприятия-заказчика или проектного предприятия.

В чем методология инвестиционных исследований не согласуется с практикой подготовки инвестиционного решения и противоречит ей?

Во-первых, базовым объектом для научного обоснования решения о реализации проекта является проектное предприятие в целом, тогда как в действительности на момент принятия инвестиционного решения предприятия-заказчика обычно не существует, оно создается при положительном решении о начале инвестиционной деятельности.

Во-вторых, в инвестиционных исследованиях решение о реализации проекта обосновывается оценками доходности инвестиций для проектного предприятия в целом, однако на практике решение об инвестировании принимает инициатор проекта и мотивирует его прогнозом своей индивидуальной выгоды от проектной деятельности. Весьма наглядно различие между доходностью проектного предприятия и индивидуальной выгодой инициатора проекта в случае паевого или акционерного финансирования, когда доходы остальных инвесторов проекта являются для его инициатора затратами по оплате финансирования.

В-третьих, в большинстве методик создание предприятия-заказчика рассматривается как отправной пункт определения рациональной схемы финансирования проекта, в реальности выбор способа финансирования инвестиций предшествует созданию проектного предприятия и зачастую обусловливает форму последнего. Чем дороже финансовые ресурсы, тем в большей степени решение о реализации проекта зависит от нахождения приемлемой схемы финансирования, обеспечивающей положительную доходность инвестиционной деятельности. Иными словами, финансирование становится лимитирующим фактором доходности инвестиционной деятельности.

Обобщая отмеченные противоречия, можно констатировать, что современная методология инвестиционных исследований не соответствует практике подготовки инвестиционного решения и лишает инициатора инвестиционного проекта научной базы его обоснования. Исключение составляет частный случай, когда инвестиционная деятельность осуществляется на базе ранее действующего предприятия, т. е. когда предприятие-заказчик само выступает в роли инициатора проекта.

Следует признать, что рядом специалистов отмечен тот факт, что участники проектной деятельности руководствуются индивидуальными интересами и мотивируют свои решения индивидуальными оценками потенциальных доходов от проекта. Необходимость разделять эффект от проекта в целом и эффект от участия в его реализации нашла отражение в современной методологии инвестиционных исследований. Однако расчет эффек-

тивности участия в проекте предлагается производить после выбора способа его финансирования. Но таким образом противоречие между методологией исследований и практикой подготовки инвестиционного решения не элиминируется, поскольку непонятно, кто и каким образом выбирает способ финансирования проекта и чем он при этом руководствуется.

В порядке преодоления отмеченных противоречий и адаптации инвестиционных исследований к практике разработана новая методика обоснования инвестиционного решения и оценки эффективности проектной деятельности. Она соответствует основным теоретическим принципам современного инвестиционного анализа и является шагом вперед в развитии его методологии. Преимущество нового подхода обеспечивается более точным моделированием механизма принятия и мотивации инвестиционного решения.

Во-первых, оценка эффективности инвестиционного проекта и вариантов его финансирования персонифицирована – она производится не для проектного предприятия в целом, а с позиции инициатора проекта.

Во-вторых, эффективность инвестиционной деятельности оценивается в зависимости от способов ее финансирования уже на стадии обоснования инвестиционного решения. Этот момент достаточно принципиален, если принять во внимание существенную дифференциацию стоимости инвестиционных ресурсов на национальных финансовых рынках. Например, многие инвестиционные проекты, реализуемые в странах Европейского союза, становятся неэффективными с учетом ценовых условий российского финансового рынка.

В-третьих, методика увязывает предельно допустимые параметры финансирования с технико-экономическими показателями инвестиционного проекта и финансовым состоянием проектного предприятия на каждом шаге проектного цикла. Поскольку доходы от проектной деятельности станут основным источником оплаты инвестиционных ресурсов, стоимость и сроки займа или привлечения ресурсов лимитированы объемом чистого дохода от проекта и режимом его поступления. Обслуживание займа и выплаты дивидендов пайщикам и акционерам не должны подрывать финансовой устойчивости предприятия на протяжении всего проектного цикла.

Отмеченные преимущества приводят методику в полное соответствие с практикой обоснования и принятия инвестиционных решений.

Последовательность итераций в методике соответствует логике предварительной проработки инвестиционных проектов и по существу является поэтапным отбором способа финансирования, обеспечивающего максимальную индивидуальную доходность инвестиционной деятельности для инициатора проекта.

Первый этап. Требования к стоимости ресурсов финансирования инвестиционного проекта определяются доходностью проекта, поскольку именно доход от проекта станет основным источником погашения проектных затрат и платы за финансовые ресурсы. Минимально допустимый срок заимствования или привлечения ресурсов зависит от периода окупаемости инвестиционных затрат: желательно, чтобы срок окупаемости не выходил за рамки срока кредитования, иначе потребуется дополнительное заимствование и возрастет финансовый риск. Уровень инвестиционного риска, связанный с устойчивостью проекта к негативным изменениям условий его осуществления, влияет на выбор между заемным и паевым финансированием: при высоком уровне риска паевое финансирование, позволяющее распределить риски на остальных пайщиков, представляется более предпочтительным. Таким образом, технико-экономические условия инвестиционного проекта задают предельно допустимые параметры финансирования (по стоимости и сроку), а также влияют на уровень инвестиционного риска и, опосредованно, на выбор формы финансирования инвестиций. Задача первого этапа оптимизации – определить допустимые условия обеспечения данного инвестиционного проекта финансовыми ресурсами.

Основным показателем, характеризующим интегральный экономический эффект от реализации инвестиционного проекта с учетом экономической неравнозначности денежных потоков разных лет, является чистый дисконтированный доход по инвестиционному проекту (NPV) – накопленное сальдо приведенных денежных потоков за расчетный период проекта. В качестве характеристики уровня доходности инвестиционного проекта используется внутренняя норма доходности (IRR), представляющая собой такое значение ставки дисконтирования, при котором интегральный чистый дисконтированный доход равен нулю, т. е. выполняется условие: $NPV = 0$. Внутренняя норма доходности является своего рода «барьерным показателем»: если стоимость капитала выше значения IRR, то «мощности» проекта недостаточно, чтобы обеспечить его доходное привлечение.

Окупаемость проекта характеризуется сроком окупаемости, исчисляемым с учетом или без учета дисконтирования. Простым сроком окупаемости называется продолжительность наименьшего периода времени, по истечении которого накопленный эффект по проекту становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Срок окупаемости с учетом дисконтирования рассчитывается на основании дисконтированных показателей. Как простой, так и дисконтированный показатели могут исчисляться от базового момента времени, от момента начала инвестиций, от начала операционной фазы проектного цикла.

Условия реализации инвестиционного проекта не могут быть строго детерминированы. Всегда остается неопределенность, связанная с неполнотой информации и стохастическим характером инвестиционного процесса. Всякая неопределенность может разрешиться в позитивном, негативном и нейтральном варианте и привести к соответствующему изменению условий осуществления проекта. Реализация негативного варианта сопряжена с риском.

В значительной степени резерв финансовой реализуемости проекта связан с его технико-экономическими параметрами. Он характеризуется таким эндогенным показателем, как точка безубыточности. Для определения точки безубыточности проекта следует разделить совокупные производственные затраты проектного предприятия на переменные – зависящие от объема выпуска, и постоянные – не зависящие от объема выпуска. В эко-

номическом смысле, точка безубыточности определяет объем продажи продукции, выручка от которой покроет постоянные издержки производства. На основе точки безубыточности можно рассчитать уровень безубыточности. Уровнем безубыточности на шаге *m* называется отношение безубыточного объема продаж на шаге *m* к проектному, отвечающему базовому сценарию. Проект считается устойчивым, если уровень безубыточности не превышает 1 после освоения проектных мощностей и не больше 0,6 после завершения расчетов по инвестиционному кредиту.

Расчет уровня безубыточности позволяет обозначить те периоды в рамках проектного цикла, когда при негативном изменении условий реализации проекта может потребоваться дополнительное финансирование, и заранее оценить его объемы. Кроме того, уровень безубыточности и его динамика в рамках проектного цикла определяют возможность применения вариантов заемного финансирования проекта. Если уровень безубыточности выходит за предельные параметры, следует отдать предпочтение паевому финансированию. Во-первых, доходы пайщиков не являются безусловными, а потому не относятся к постоянным затратам как процентные платежи по кредиту, следовательно, тем самым обеспечивается снижение уровня безубыточности при паевом финансировании. Во-вторых, паевое финансирование позволяет распределить риски. Акционерное финансирование, как вариант привлечения инвестиционных ресурсов, в данном случае едва ли возможно, поскольку во всех экономически развитых странах проекты эмиссии акций проходят серьезную предварительную экспертизу в соответствующих институтах. И проект, недостаточно устойчивый к риску, не получит одобрения.

Второй этап. Вторым этапом методики является тестирование возможных способов финансирования на приемлемость в плане обеспечения финансовой устойчивости проектного предприятия на протяжении проектного цикла. Анализ осуществляется в рамках балансового подхода.

Проектная деятельность находит отражение в балансовом отчете предприятия, влияет на валюту баланса, структуру актива и пассива, а значит, и на динамику финансовых коэффициентов. Анализ строится на использовании стандартных финансовых коэффициентов, характеризующих устойчивость, ликвидность, доходность и оборачиваемость активов предприятия (коэффициент соотношения собственных и заемных средств, коэффициент абсолютной ликвидности, коэффициент рентабельности инвестиций, коэффициент рентабельности продаж и коэффициент рентабельности активов, коэффициент оборачиваемости активов).

Анализ рассмотренных финансовых коэффициентов позволит оценить эффективность предприятия (коэффициент рентабельности инвестиций, коэффициент оборачиваемости активов) и его устойчивость к рискам (коэффициент соотношения собственных и заемных средств, коэффициент общей ликвидности) при различных способах проектного финансирования. Эта оценка будет произведена в рамках стандартного, распространенного в практике подхода к анализу финансового состояния предприятия. Такой подход применяют банки, определяя платежеспособность потенциального дебитора, фирмы – для оценки надежности будущего партнера или заказчика, а также инспектирующие органы. В силу своей статичности и условности метод финансовых коэффициентов не дает полного и точного представления об эффективности различных способов проектного финансирования. Однако он позволяет спрогнозировать «деформацию» финансового состояния предприятия (оцененного в привычных параметрах) во время проектной деятельности при альтернативных источниках ее финансирования. Результаты анализа станут существенным уточнением финансовых условий реализации проекта и базой анализа проектных рисков.

Итогом описанного этапа является выбор приемлемых из возможных способов финансирования с учетом финансового состояния предприятия на протяжении проектного цикла.

Третий этап. Задачей третьего этапа является ранжирование отобранных на предыдущих этапах способов финансирования по уровню их эффективности.

Инвестиционный проект, как и любая финансовая деятельность, порождает движение денежных потоков. Денежный поток представляет собой зависящие от времени денежные поступления (приток) и платежи (отток) при осуществлении инвестиционного проекта. Интегральный денежный поток инвестиционного проекта можно условно разделить на инвестиционный, операционный и поток проектного финансирования. При этом инвестиционный поток будет отражать движение денежных средств, обусловленное непосредственно процессом инвестирования. Операционный поток представит денежные поступления и платежи, связанные с производственной деятельностью проектного предприятия. Наконец, поток проектного финансирования покажет движение денежных средств по привлечению и оплате ресурсов для финансирования проекта.

Инвестиционный и операционный потоки не зависят от способа финансирования, заданы параметрами проекта и, по существу, являются эндогенными. Поток проектного финансирования, напротив, чувствителен к изменению схемы привлечения финансовых ресурсов. Поэтому можно вычленить поток проектного финансирования как экзогенный параметр, а инвестиционный и операционный потоки сальдировать и определить как эндогенный денежный поток проекта. Таким образом, интегрированный денежный поток проекта разделяется на эндогенный поток и поток проектного финансирования (экзогенный денежный поток).

Введем условные обозначения:

IF (investment flow) – инвестиционный денежный поток;

OF (operation flow) – операционный денежный поток;

EnF (endogenuos flow) – эндогенный денежный поток, EnF = IF + OF;

ExF (exogenous flow) – денежный поток проектного финансирования.

Все перечисленные параметры зависят от времени и фиксируются пошагово, для выбранного временного интервала или шага *t* (года, квартала, месяца). Кроме того, денежный поток проектного финансирования меняется в зависимости от способа финансирования проекта *j*.

Итак, каждому инвестиционному проекту соответствует определенный вектор EnF_t, компоненты которого отражают сальдо инвестиционного и операционного денежных потоков на шаге t. Каждой схеме финансирования j данного проекта соответствует определенный вектор $ExFt_j$, компоненты которого характеризуют денежный поток проектного финансирования на шаге t.

По окончании расчетного периода проектное предприятие подвергается условной ликвидации. Существуют различные подходы к определению ликвидационной стоимости проектного предприятия. В данном случае приближенная цена, по которой может быть продано проектное предприятие (остаточная стоимость), определяется на основе оценки активов предприятия по балансовому отчету, т. е. суммированием, во-первых, остаточной стоимости основных средств, во-вторых, стоимости высвобождающихся оборотных активов за вычетом краткосрочных обязательств. От возможных потерь при реализации имущества предприятия, а также от затрат по ликвидации мы абстрагируемся.

Следует заметить, что стоимость оборотных активов, накопленная на балансе предприятия к концу расчетного периода, отражена в составе компонентов вектора эндогенных потоков EnF_t, а значит, уже зафиксирована как положительный эффект проектной деятельности. Чтобы избежать повторного счета, необходимо исключить этот элемент из ликвидационной стоимости предприятия. Тогда последняя определится как остаточная стоимость основных фондов предприятия за вычетом его краткосрочных обязательств.

Остаточная стоимость предприятия зависит от его первоначальной стоимости и продолжительности его операционной деятельности. Предположим, расчетный период включает i шагов операционной деятельности, тогда стоимость условной ликвидации проектного предприятия можно обозначить L_i – этот показатель характеризует остаточную стоимость проектного предприятия по истечении i шагов операционной деятельности.

Задача определения наилучшей схемы проектного финансирования формализуется в выбор такого вектора ExF_t^*, при котором выполняется следующее условие:

$$\sum_t \left(EnF_t + ExF_t^j\right) + L_i \to \max \text{ (для фиксированного } i\text{)},$$

где $t \in [1;T]$ – индекс шага расчетного периода; j – индекс способа финансирования проекта; i – индекс шага операционной деятельности; EnF_t – эндогенный денежный поток; ExF_t^j – денежный поток при j-м способе финансирования; L_i – остаточная стоимость предприятия по истечении i шагов операционной деятельности.

Иными словами, достигается максимальное накопленное положительное сальдо эндогенного и экзогенного денежных потоков вкупе с ликвидационной стоимостью предприятия.

Важно подчеркнуть, что модельной оценке должны подвергаться способы финансирования, прошедшие тестирование в рамках балансового подхода, соответствующие требованию сбалансированности затрат и ресурсов на каждом шаге проектной деятельности.

Для обеспечения сопоставимости денежных потоков разных лет необходимо привести их к началу расчетного периода с помощью коэффициента дисконтирования. С учетом дисконтирования модель изменится следующим образом:

$$\sum_t \alpha_t \cdot (EnF_t + ExF_t^j) + \alpha_T \cdot L_i \to \max$$

(для фиксированного i),

где $\alpha_t = \dfrac{1}{(1+r)^t}$ – коэффициент дисконтирования.

Теперь для каждого из рассматриваемых способов финансирования рассчитан полный приведенный доход от проектной деятельности. Назовем его интегральной экономической оценкой эффективности способа проектного финансирования.

Для отражения в модели позиции инициатора проекта введем дополнительный параметр: s_j – долю инициатора проекта в уставном капитале проектного предприятия при способе финансирования j. Как правило, при различных вариантах заемного финансирования $s_j = 1$, а в случае паевого финансирования $s_j < 1$.

Итак, общий вид модели:

$$s_j \cdot \left[\sum_t \alpha_t \cdot (EnF_t + ExF_t^j) + \alpha_T \cdot L_i\right] \to \max$$

(для фиксированного i).

Модель позволяет рассчитать совокупный положительный эффект инвестиционной деятельности для инициатора проекта в зависимости от способа финансирования. Варианты финансирования проекта ранжируются в порядке убывания расчетного показателя (комплексной экономической оценки эффективности способа проектного финансирования). Схема финансирования с максимальной интегральной экономической оценкой эффективности признается наилучшей. Таким образом, модель не только позволяет получить обобщенную экономическую оценку каждого из альтернативных вариантов финансирования проекта, но и выбрать самый эффективный.

Представленная методика оценки эффективности инвестиционного проекта является по существу процессом оптимизации его финансирования, поскольку позволяет определить способ финансирования, обеспечивающий максимальную доходность инвестиционной деятельности для инициатора проекта, соответствующий ограничениям по стоимости и сроку предоставления, а также по требованиям финансовой устойчивости проектного предприятия.

Апробация описанной модели и подхода в целом производилась на реальном инвестиционном проекте «Отходы XX века – в продукт XXI века», в рамках которого германская фирма Microfaser-Repro-GmbH (являющаяся инициатором проекта) планирует организацию предприятия по переработке пластиковых отходов в продукт широкого спектра применения. Стоимость проекта – 3 млн евро.

По результатам первого и второго этапов методики было отобрано три варианта финансирования:

– банковский кредит в сумме 3 млн евро сроком на 6 лет по ставке 3 % годовых;

– облигационный заем объемом эмиссии в 3 млн евро, с купонной ставкой 5 % годовых сроком на 6 лет;

– привлеченные средства пайщиков (создается новое проектное предприятие Microfaser-Repro-Project-GmbH с

уставным капиталом в 4 млн евро, инициатор проекта участвует в этом предприятии паевым взносом в 1 млн евро, чистая прибыль ежегодно распределяется между учредителями пропорционально паевым взносам).

В обоих случаях заемного финансирования предоставляется государственная гарантия по займу. При любом варианте финансирования проектное предприятие получает налоговое освобождение сроком на 6 лет.

Доля инициатора проекта в уставном капитале проектного предприятия (s_j) равна 1 при заемном финансировании и 0,25 – в случае создания паевого предприятия.

Норма дисконта (r) установлена на уровне первоначальной ставки рефинансирования Европейского банка для зоны евро – 2 %, поскольку этот уровень отражает минимальную отдачу капитала в экономике стран европейского валютного блока.

В результате модельных расчетов получена оценка интегрального эффекта инвестиционной деятельности для инициатора проекта по истечении 5 лет операционной деятельности при использовании различных способов финансирования. Она составляет:

– 3 021,15 тыс. евро – при кредитном финансировании;

– 2 644,41 тыс. евро – при облигационном финансировании;

– 1 139,81 тыс. евро – при паевом финансировании.

Очевидно, что наилучшим, с точки зрения инициатора проекта, является вариант кредитного финансирования. В 1,14 раза менее эффективен облигационный заем. Наконец, худшим вариантом из рассматриваемых выглядит для инициатора проекта паевое финансирование – оно в 2,65 раза уступает кредитному по интегральному доходу.

Результаты эмпирических исследований подтверждают эффективность предложенной автором методики как аппарата оценки доходности инвестиционного проекта в зависимости от способа его финансирования.

Предложенная автором методика увязывает оценку эффективности инвестиционного проекта с определением наилучшего способа его финансирования. Возможные варианты финансирования отбираются в соответствии с экономическими параметрами инвестиционного проекта и тестируются на предмет обеспечения устойчивости предприятия в течение всего проектного цикла. Эффективность проекта и схемы его финансирования оцениваются с позиции инициатора проекта, который в действительности принимает решение о реализации проекта, обусловливая его индивидуальной выгодой. Представленная методика является принципиально новым, научным, адаптированным к практике механизмом обоснования инвестиционного решения.

N. V. Sytcheva

EVALUATING THE EFFICIENCY OF INVESTMENT ACTIVITY TAKING INTO ACCOUNT THE SCHEME OF FINANCING

The proposed method corresponds to major theoretical principles of contemporary investment analysis and is an advance in its methodology development. The advantage of a new approach is provided by more precise modeling of mechanism of substantiation and making an investment decision. The approbation on a real investment project has proved the efficiency of the proposed method as algorithm for evaluating profitability of investment activity and selecting optimum variant of its financing.

Keywords: efficiency of real investments, scheme for project financing.

© Сычева Н. В., 2010

УДК 658.5

В. Э. Кауп, Н. В. Пузырева, А. В. Воркулева

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассматривается порядок организации управленческого учета в рамках внедрения системы контроллинга на предприятии, а также проблемы, с которыми могут столкнуться предприятия при постановке такой системы.

Ключевые слова: контроллинг, управленческий учет, система учета.

Для российских предприятий все более актуальным становится повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции. В то же время практика показывает, что наибольших успехов достигают те предприятия, которые осуществляют инновационную деятельность: широко используют новые технологии, современные подходы в управлении, результаты научных исследований и разработок либо иных научно-технических достижений, стремятся к достижению новых направлений в бизнесе, выпуску новых видов продукции и т. д.

Одним из приоритетных направлений современной экономики России является создание условий для развития инновационной деятельности. Среди отраслей, осуществляющих инновационную деятельность, ведущее место занимает ракетно-космическая промышленность (РКП), которая на протяжении многих десятилетий является технологическим лидером в нашей стране. На ее долю приходится большая часть всех научных разработок. Именно при производстве ракетно-космической техники наиболее активно идет процесс освоения новых высокотехнологичных изделий.

Исследование деятельности предприятий РКП позволяет сделать вывод о том, что эффективность использования накопленного инновационного капитала в значительной степени определяется эффективностью его управления.

Основной задачей эффективного управления деятельностью промышленного предприятия в современных условиях является достижение заданных результатов с использованием оптимального количества ресурсов в условиях ограничений, налагаемых как внешними, так и внутренними факторами. Выполнение этой задачи во многом зависит от организации системы управления предприятием, принимаемых управленческих решений, что, в свою очередь, повышает требования к их обоснованности. Руководство должно быть обеспечено не только информацией о текущем состоянии дел, но и прогнозом изменений внутренней и внешней среды при различных вариантах принимаемых решений. Для этой цели необходимы взаимоувязанные методы планирования, учета, контроля и анализа потребляемых ресурсов, соответствующие сложности решаемых задач. Существующие системы управления опираются на отдельные, не связанные между собой подсистемы, и нуждаются в совершенствовании. Новые возможности по интеграции, координации и системной организации информационного обеспечения процессов планирования, регулирования и контроля проявляются при использовании на предприятии системы контроллинга [1].

Контроллинг наряду с другими новейшими управленческими инструментами становится для менеджеров основной возможностью принятия взвешенных управленческих решений в условиях тотального сокращения времени на их принятие и адаптацию к новым условиям, а также при ограниченности внутрихозяйственных возможностей для привлечения дополнительных ресурсов. Контроллинг до сих пор остается наиболее перспективным направлением в разработке новых подходов к управлению предприятием, соединяющим теории принятия решений, информационного обеспечения и организационного моделирования, хотя у него нет единой универсальной организационной модели и в каждом конкретном случае он может различаться в зависимости от целей, структуры предприятия, технологии производства, способа его управления [1].

Но многие авторы сходятся во мнении, что контроллинг представляет собой комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных подсистем (планирования, информационного обеспечения (учета), контроля, анализа полученных результатов, формирования вариантов управленческих решений), которые обеспечивают возможность функционирования системы в целом [1].

В настоящее время в большинстве российских организаций бухгалтерский учет, система планирования и, тем более, анализа и контроля, поставлены таким образом, что циркулирующая в них информация недостаточна для оперативного управления и анализа в рамках системы контроллинга. В этом и состоит одна из наиболее сложных организационных проблем. Внедрение на предприятиях, имеющих сложную производственную структуру, системы контроллинга требует порой полного пересмотра порядка формирования оперативной экономической и финансовой информации, помогающей оптимизировать затраты и финансовые результаты, принимать обоснованные управленческие решения. Одним из способов решения данной проблемы является использование на предприятии управленческого учета, который считают одним из перспективных направлений бухгалтерской практики.

В отличие от финансового и налогового учета, строго регламентированных стандартами и законодательством, управленческий учет ведется в соответствии с информационными потребностями менеджмента конкретного предприятия. Поэтому существует множество различных подходов к разработке системы управленческого учета, к методам его ведения и даже к самому определению управленческого учета [2].

Управленческий учет стоит рассматривать как самостоятельное направление бухгалтерского учета органи-

зации, которое обеспечивает ее управленческий аппарат информацией, необходимой для планирования, управления, контроля и оценки организации в целом, а также ее структурных подразделений.

Главная цель внедрения системы управленческого учета на предприятии – обеспечение руководства организации максимально полной информацией, необходимой для эффективной работы.

Разработка и внедрение системы управленческого учета требует немало усилий и времени (на крупных предприятиях этот процесс может занять несколько месяцев) и не сразу дает результаты. Понадобится время на разъяснение важности и необходимости данной системы, на ее апробирование, на накопление информации, которая поможет скорректировать систему управленческого учета уже по ходу внедрения. Автоматизация как бухгалтерского, так и управленческого учета позволит ускорить процесс предоставления информации, необходимой для целей управления.

Выбирать систему автоматизации управленческого учета надо в зависимости от масштабов бизнеса, вида и специфики деятельности предприятия. Стоимость получения информации не должна превышать эффект от ее использования.

В целом можно выделить три основных уровня потребителей управленческой информации:

– корпоративный (акционеры, инвесторы);

– топ-менеджмент (генеральный директор, его заместители, финансовый директор);

– руководители среднего звена (функциональных подразделений, служб, отделов).

Для действительно эффективного управления предприятием необходимо оперативно получать информацию об ассортименте товаров, себестоимости товаров и движении денежных средств. Эти три раздела управленческого учета тесно взаимосвязаны, между ними постоянно происходит информационный обмен. Если ограничиться учетом только по одному из направлений, то никогда не удастся воспроизвести объективную и, главное, целостную картину.

Немаловажной задачей для руководства при внедрении управленческого учета является определение ответственного за эту работу. Наиболее целесообразно поручить это финансовому директору.

Ему необходимо выполнить следующие задачи:

– разработать систему классификации ассортимента и подсчета затрат. Эта задача потребует провести инспектирование всех производственных подразделений предприятия, чтобы изучить механизмы образования затрат на каждом участке, оценить их целесообразность и обоснованность;

– разработать динамический метод расчета себестоимости и в дальнейшем применять его на практике [3];

– создать компьютерную систему учета и анализа данных о деятельности предприятия (программное обеспечение и рабочую модель учетных форм).

Для достижения положительных результатов постановку управленческого учета рекомендуется осуществлять в несколько этапов (см. рисунок).

Этап 1. На данном этапе определяется ответственный за организацию управленческого учета на предприятии.

Этап 2. Формируется служба управленческого учета, решаются организационные вопросы, распределяются задачи.

Этап 3. При внедрении управленческого учета можно столкнуться с ситуацией, когда одни и те же данные поступают из разных служб предприятия. Соответственно, цифры будут отличаться, поскольку каждая из служб до этого собирала информацию «для себя», т. е. так, как считала правильным. Соответственно, одной из задач является сверка данных, составляемых в разных подразделениях, чтобы финансово-экономическая служба могла определить, чьи показатели ей можно использовать в управленческом учете.

В соответствии с теорией и практикой корпоративного управления отдельные организации, структурные подразделения, службы, цеха, отделы или группы являются центрами финансовой ответственности. Их начальники несут ответственность за конкретные участки работ и решение поставленных руководством задач. В зависимости от полномочий и ответственности руководителей структурной единицы она может быть центром затрат, центром доходов, центром прибыли, центром инвестиций. Каждый центр имеет свой бюджет, а его менеджеры – возможность самостоятельно принимать решения в рамках бюджета. Такая децентрализация управления финансами повышает оперативность работы отдельных подразделений и компании в целом. И, кроме того, это помогает добиться прозрачности бизнеса: руководителям предприятия становится легче контролировать его отдельные участки и видеть все источники возникновения доходов и расходов. Для каждого ЦФО определяется свой плановый бюджет доходов и расходов. Затем оценивается эффективность их работы путем сравнения плановых и фактических показателей.

Этап 4. Для каждого центра ответственности разрабатывается набор показателей, характеризующих эффективность его деятельности, а также регламент сбора, обработки и хранения полученной информации. Для этого нужно создать формы управленческой отчетности, в которые будут заноситься все данные.

Состав, содержание и формы управленческой отчетности необходимо разрабатывать с учетом следующих принципов:

– принципа релевантности (управленческая отчетность должна быть полезной для принятия конкретных управленческих решений, а не просто информировать о тех или иных аспектах деятельности организации);

– принципа оперативности и адресности (отчетность должна представляться конкретным менеджерам в соответствии с их положением в иерархии управления);

– принципа достаточности (информации в отчетности должно быть достаточно для принятия управленческих решений на соответствующем уровне, в то же время она не должна быть избыточной и отвлекать внимание руководителей на несущественные или не относящиеся к делу сведения);

– принципа аналитичности (управленческая отчетность должна предполагать возможность проведения последующего анализа с минимальными затратами времени);

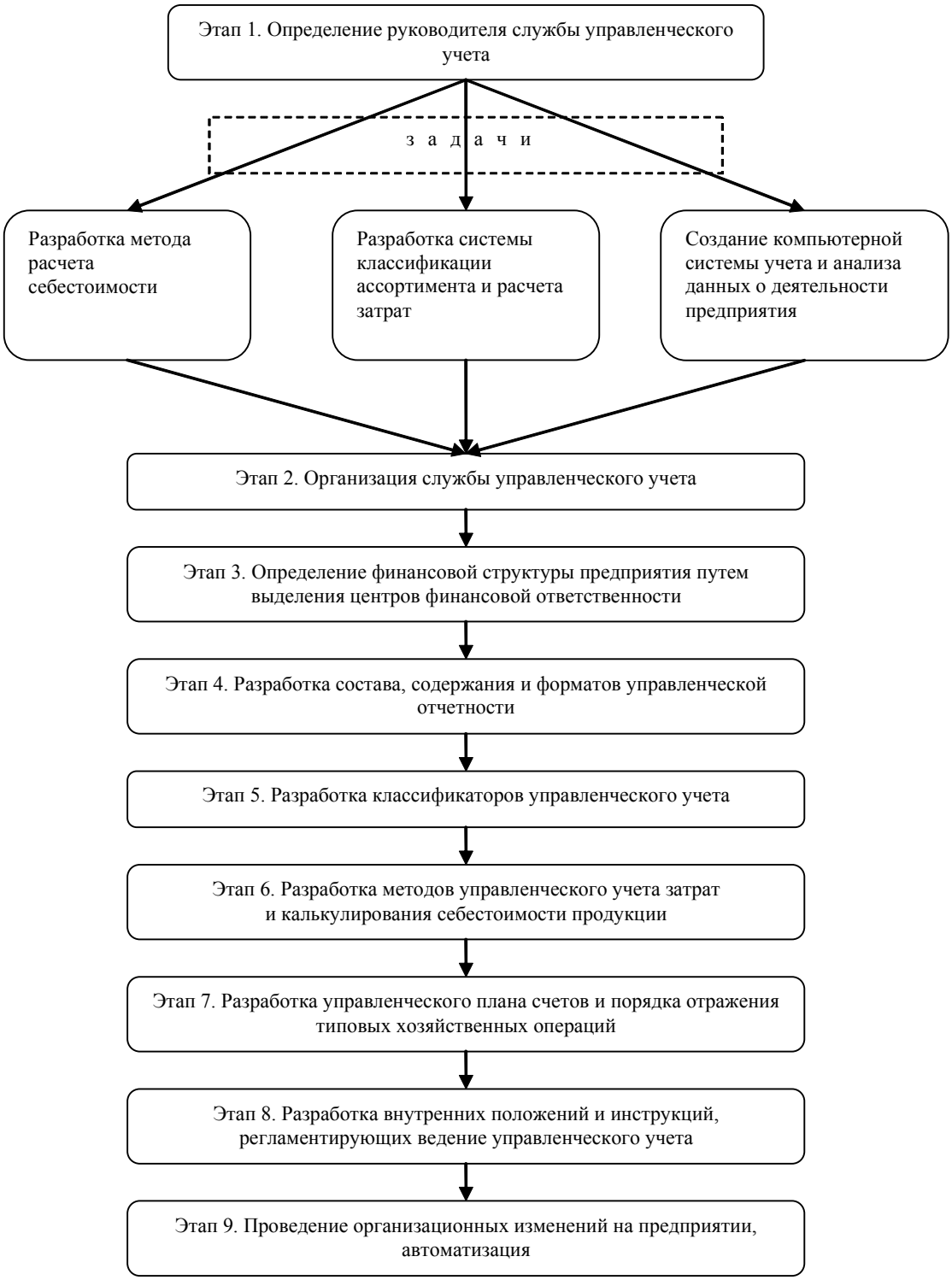
– принципа понятности;

– принципа достоверности;

– принципа сопоставимости (сопоставимость управленческой отчетности дает пользователям возможность выявить сходство и различие данных, представленных в нескольких пакетах отчетности. Сопоставимость достигается за счет использования одинаковых принципов учета в схожих сделках и условиях).

Для оценки деятельности отдельных ЦФО применяются различные формы отчетности. Для ЦФО, отвечающих за получение дохода, определена форма, позволяющая контролировать и учитывать объем продаж, наценку по товарным группам и каналам сбыта, размер дебиторской задолженности, валовую прибыль. А в форме отчетности для центров затрат отражены объем и стоимость полученных услуг, работ, израсходованных материалов, имущественных активов.

Главные отличия управленческой отчетности от бухгалтерской заключаются в степени детализации (в управленческой отчетности представлена более подробная ана-



Этапы организации управленческого учета

литическая информация), способах группировки данных (в управленческой отчетности данные могут группироваться по принципам, отличным от бухгалтерских) и в степени точности информации (в некоторых случаях, особенно в оперативных управленческих отчетах, допускаются определенная погрешность и использование приблизительных данных).

При разработке методики составления и обработки отчетности требуется взвешенный подход к определению сроков подачи управленческой отчетности, количества представляемых данных, их формата.

Каждое предприятие разрабатывает управленческую отчетность, ориентируясь прежде всего на свои потребности в управленческой информации. С одной стороны, не имея всей информации, руководство организации не сможет принимать взвешенных решений, с другой – если информации слишком много, менеджеру становится труднее выделить самые важные данные, оказывающие наибольшее влияние на развитие предприятия.

Этап 5. Классификаторы управленческого учета определяют и описывают различные объекты учета с целью их однозначной трактовки всеми участниками процессов планирования, организации, стимулирования и контроля на предприятии. Как и в случае с управленческой отчетностью, количество и типы используемых классификаторов каждое предприятие определяет исходя из своих потребностей. Наиболее распространенными классификаторами управленческого учета, применяемыми в российских компаниях, являются следующие:

– виды производимой продукции, работ и услуг;
– виды доходов;
– центры финансовой ответственности;
– места возникновения затрат;
– виды (экономические элементы) затрат;
– статьи калькуляции;
– виды активов;
– виды обязательств;
– виды собственного капитала;
– проекты;
– направления инвестиций;
– основные и вспомогательные бизнес-процессы;
– типы клиентов;
– категории персонала.

Внутри каждого классификатора вводится сквозная нумерация. Если есть необходимость детализировать объекты учета, можно использовать многоуровневую структуру кода. Классификаторы и кодификаторы играют важную роль и при автоматизации управленческого учета [3].

Этап 6. Предприятие вольно выбирать такие методы управленческого учета, которые ему удобны: в данной области нет таких жестких законодательных требований, как в налоговом или бухгалтерском (финансовом) учете. Традиционной задачей управленческого учета является калькулирование себестоимости, и, соответственно, учет затрат. Необходимо выбирать наиболее подходящие для предприятия методы учета, которые не будут мешать процессу производства, а позволят без лишних затрат отнести издержки к тому или иному процессу, проекту или конкретной продукции. К наиболее распространенным методам учета затрат можно отнести:

– попроцесный учет затрат;
– попередельный учет;
– позаказный учет затрат;
– учет по нормативам (стандарт-костинг);
– учет фактических затрат;
– учет по полной себестоимости;
– учет по производственной себестоимости (абзорпшен-костинг);
– директ-костинг и др.

Этап 7. Разработка управленческого плана счетов – чрезвычайно важная работа для всей системы управленческого учета, так как он является фундаментом для учетной политики и одновременно регистром хранения данных. Управленческий план счетов может быть сформирован по различным принципам, отличным от применяемого типового плана счетов. Более того, в системе предусмотрена возможность ведения бюджетирования в разрезе нескольких планов счетов. Для каждого счета может быть предусмотрено несколько индивидуальных аналитик, в разрезе которых будет осуществляться планирование и учет фактических данных, а затем – их сравнение. Очень важно, что эти аналитики также настраиваются индивидуально и могут быть как уже существующими объектами конфигурации, так и специально создаваемыми.

Этап 8. Поскольку методы и правила управленческого учета не регламентированы общепринятыми стандартами и законодательством, то они устанавливаются самим предприятием. Как правило, составляются следующие основные внутренние положения и инструкции, определяющие нормы и правила ведения управленческого учета:

– положение о финансовой структуре предприятия;
– положение об учетной политике;
– единые классификаторы и кодификаторы управленческого учета и инструкции по их применению;
– управленческий план счетов;
– формы первичных и отчетных документов управленческого учета;
– регламенты бизнес-процессов, отражающие сроки, порядок и ответственность конкретных сотрудников за формирование регистров управленческого учета и форм отчетности.

Этап 9. Наиболее распространенным способом решения задач автоматизации управленческого учета являются собственные разработки или адаптируемые продукты. Основной довод в пользу такого подхода – высокая стоимость комплексных информационных систем.

Но от неэффективного программного продукта страдает качество как бухгалтерской, так и управленческой информации: не достигаются необходимые степень детализации и скорость предоставления данных. Поэтому рано или поздно любая организация подходит к такому этапу развития, когда необходима серьезная комплексная информационная система.

В настоящий момент на рынке систем учета финансово-хозяйственной деятельности и ERP-систем предлагается большое количество всевозможных программных продуктов для ведения управленческого учета и формирования управленческой отчетности. Данные программные продукты делятся на три блока:

– софт для крупных и вертикально интегрированных компаний и холдингов. В качестве примера можно привести систему Microsoft Dynamics AX. Цена программного продукта варьирует в среднем от 40 до 120 тыс. долл. США в зависимости от используемых блоков и количества лицензий. Стоимость внедрения, как правило, превышает стоимость программного обеспечения в 2–3 раза.

– софт для предприятий среднего бизнеса. В качестве примера можно привести систему Microsoft Dynamics NAV, удовлетворяющую перечисленным требованиям. Цена программного продукта варьирует в среднем от 20 до 80 тыс. долл. США. Стоимость внедрения, как правило, превышает стоимость программного обеспечения в 2–3 раза.

– софт для предприятий малого бизнеса. В качестве примера можно привести систему компании «7Софт» «Управленческий учет – 3.3» (совмещающую в себе функции учета финансово-хозяйственных операций и планирования). Цена программного продукта варьирует в среднем от 15 до 50 тыс. руб. Стоимость внедрения, как правило, превышает стоимость программного обеспечения в 1,5–2 раза [4].

При внедрении управленческого учета часто возникают определенные проблемы. Назовем здесь некоторые из них.

1. Несовпадение приоритетов различных отделов предприятия. Если руководители различных отделов не заинтересованы в получении качественной информации, они не будут принимать непосредственного участия в процессе постановки управленческого учета. Следовательно, пользователями данной системы станет крайне ограниченный круг лиц.

2. Отсутствие необходимых навыков у специалистов, осуществляющих постановку управленческого учета. В связи с этим они могут совершить большое количество ошибок в проекте, затянуть сроки окончания проекта. Очень часто проект не завершается.

3. Неподготовленность специалистов, непосредственно осуществляющих ведение управленческого учета на основании разработанной методологии. Без квалифицированных кадров не может быть получена достоверная управленческая отчетность.

4. Решение сторонних или локальных задач. В рамках постановки управленческого учета решается достаточно небольшой круг задач либо задачи, не связанные с общей целью управленческого учета. В связи с этим ставится под сомнение положительный результат подобных проектов.

5. Длительность процесса автоматизации. Порой недостаточно разработать методологию управленческого учета, ее необходимо и автоматизировать. При выборе программного продукта для предприятия существует ряд ограничений – стоимость программного продукта, его функциональные возможности, сроки внедрения, простота настройки и работы в системе, которые неразрывно связаны между собой. Поэтому невозможно внедрить систему за короткий срок, и качественно. Как правило, при выборе руководствуются одним-двумя критериями отбора, что может неблагоприятно сказаться на результате внедрения.

6. Постоянные изменения в организационной и финансовой структурах предприятия. Это не позволяет при постановке управленческого принять во внимание все имеющиеся или планируемые аналитики, необходимые для контроля и анализа [5].

Значительную часть пути по постановке управленческого учета многие российские организации уже преодолели, но еще большая часть работы впереди. Российским предприятиям предстоит решить следующие основные задачи: создать единую информационную среду, охватывающую всю систему управленческого учета; активно использовать нефинансовые показатели в системе управленческого учета, поскольку без них невозможно принятие обоснованных управленческих решений.

Организация управленческого учета позволит реализовать на предприятии функции учета, планирования, контроля и регулирования себестоимости продукции. Кроме того, управленческий учет будет использоваться для оптимизации расходов, прибыли, капитальных вложений и ряда других показателей, которые формируются в управленческом учете не только в целом по организации, но и по ее структурным подразделениям.

Предложенные мероприятия могут быть осуществлены в дальнейшей деятельности предприятия. Осуществив все описанные этапы организации управленческого учета, предприятие получит систему, готовую к эксплуатации. Однако прежде чем эта система начнет эффективно работать, необходимо опробовать ее на практике и, если нужно, внести определенные корректировки. Одновременно следует обучать сотрудников, ответственных за ведение управленческого учета. И лишь после этого руководство компании сможет полноценно пользоваться плодами работы по организации системы управленческого учета.

Библиографические ссылки

1. Ерыгина Л. В., Золотарева Г. И. Контроллинг производственных затрат на предприятиях инновационного типа : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2007.

2. Валебникова Н. В., Василевич И. П. Современные тенденции управленческого учета // Бух. учет. 2008. № 18. С. 53–59.

3. Молвинский А. Как разработать и внедрить систему управленческого учета на предприятии [Электронный ресурс] // Клерк : сайт. 29.11.2007. URL: http://www.klerk.ru/boss/articles/93900/ (дата обращения: 29.12.2007).

4. Программные продукты для управленческого учета [Электронный ресурс] // Bestconsult : сайт. [б. д.]. URL: http://www.bestconsult.ru/services_02e.php (дата обращения: 13.07.2010).

5. Этапы постановки системы управленческого учета [Электронный ресурс] // Bestconsult : сайт. [б. д.]. URL: http://www.bestconsult.ru/services_02b.php (дата обращения: 13.07.2010).

V. E. Kaup, N. V. Puzyreva, A. V. Vorkuleva

ORGANIZATION OF ADMINISTRATIVE ACCOUNT AT RKP ENTERPRISES

The article is devoted to practice of administrative account organization within the implementation of controlling method at enterprise. Problems which enterprises can face when develop this system is also considered in this article.

Keywords: controlling, administrative account, account system.

© Кауп В. Э., Пузырева Н. В., Воркулева А. В., 2010

УДК 339.137.22

Ю. В. Данильченко, А. С. Хожаев

УПРАВЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯМИ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ДЕЛОВЫХ УСЛУГ

Тенденции развития современных рынков деловых услуг обусловливают необходимость унификации ассортимента, качества и стоимости услуг. Предлагаемые в работе инструменты взаимодействия с потребителями в этих условиях становятся важнейшим элементом модели обеспечения конкурентоспособности предприятия деловых услуг.

Ключевые слова: конкурентоспособность, управление, взаимоотношения с потребителями, сфера деловых услуг.

Одной из ключевых тенденций развития современной экономики является рост сферы услуг, увеличение ее доли в мировой экономике. В целом доля сферы услуг в последней четверти XX в. – начале XXI в. росла быстрыми темпами. В настоящее время в экономиках ряда стран она составляет до 50 %, а в наиболее развитых странах – до 70 % [1, с. 107] С 90-х гг. XX в. эта тенденция отчетливо стала проявляться и в российской экономике, особенно очевидно в сфере деловых услуг, где в значительной степени присутствует малый и средний бизнес. Это связано как со сравнительно небольшим размером стартового капитала, необходимого для «вхождения в рынок», так и значительно выросшими потребностями в данных услугах со стороны крупного бизнеса. Кроме того, сфера услуг начинает играть значительную роль в вопросах занятости населения. В этой связи все чаще возникает необходимость в формировании научных подходов к изучению этой сферы.

В теории и на практике уже давно используется понятие «сфера услуг». Оно стало привычным и часто употребляемым.

Процитируем здесь Ф. Котлера, который твердо убежден: «В конечном итоге все должно сводиться к сфере услуг. Во-первых, клиент, приобретающий товар, на самом деле покупает услуги, которые этот товар ему предлагает. Машина – средство передвижения; мыло обеспечивает своего владельца возможностью вымыть руки; учебник дает знания и информацию» [2, с. 185].

Услугу в маркетинге А. П. Челенков определяет как согласованный процесс взаимодействия двух или более субъектов рынка, когда одни субъекты воздействуют на другие в целях создания, расширения или воспроизводства возможностей последних в получении фундаментальной пользы (благ) [3, с. 45]. Рассматривая сферу услуг, данный автор указывает на их взаимосвязь с товарами. В условиях постоянного технического прогресса рынки товаров и услуг становятся практически неотделимы друг от друга (производство товаров требует их дальнейшего сервисного обслуживания и т. п.) [3, с. 8–9].

Сфера услуг делится на две группы: потребительские услуги (ориентированные на широкий круг физических лиц) и институциональные услуги.

Институциональные услуги – это услуги, потребителями которых выступают не физические лица, а предприятия, организации, учреждения и другие хозяйственно-управленческие структуры. Подавляющую часть институциональных услуг составляют деловые услуги.

Деловые (*профессиональные*) *услуги* – это услуги, которые оказываются предприятиям, организациям, учреждениям и другим хозяйственно-управленческим структурам, а также отдельным физическим лицам, что способствует их успешной профессиональной деятельности или получению прибыли.

Предлагаемая выше трактовка терминов может создать впечатление, что происходит диффузия понятий «деловые услуги» и «потребительские услуги». В какой-то мере это верно, но лишь отчасти. Понятие «деловые услуги» является интегрирующим между понятиями «институциональные услуги» и «потребительские услуги».

Сфера деловых услуг представляет собой вид предпринимательской деятельности по оказанию услуг хозяйственно-управленческим структурам и физическим ли-

цам в целях обеспечения их профессиональной деятельности или получения прибыли.

В настоящее время услуги как экономическое явление образуют сложнейшую область производственных, финансовых, правовых и социальных отношений, которая по мере своего развития стимулирует и катализирует процессы, происходящие в сферах производства, социального (государственного, муниципального) управления, распределения и потребления. Рыночная инфраструктура является специфической саморегулирующейся системой разнонаправленных отраслей. При этом каждая составная часть данной системы уникальна.

Потребитель – это один из важнейших элементов в рыночной деятельности предприятия. По характеру потребительских предпочтений выделяются три основных группы потребителей: массовый потребитель, сегментированный потребитель, индивидуальный потребитель. Взяв в качестве классификационного признака тип потребителя, на которого преимущественно ориентирована услуга, сферу деловых услуг можно представить следующим образом (см. таблицу).

Характеристика услуг, ориентированных на систему потребительских предпочтений массового потребителя, включает стандартизированный ассортимент услуг, относительно невысокая стоимость, значительное количество разрозненных потребителей, отсутствие реакции на изменение потребностей отдельных потребителей, доступность получения информации о предприятии-поставщике. Для массового потребителя эффективны инструменты недиффереципованного, массового воздействия: реклама, методы стимулирования сбыта и пиар (организация связи с общественностью), а также применение эффективной ценовой политики и стандартизация процессов оказания основных видов услуг.

Большинство деловых услуг ориентировано на сегментированного потребителя. Характеристика услуг, ориентированных на систему потребительских предпочтений сегментированного потребителя, включает расширенный ассортимент услуг, оптимальное соотношение цены и качества услуг, наличие групп взаимодействующих друг с другом потребителей, избирательную реакцию на изменение потребностей отдельных потребителей, известность предприятия-поставщика. Для данной группы потребителей наиболее эффективна стратегия дифференцированного воздействия, с применением инструментов прямого воздействия: телемаркетинга, факсовых, электронных, почтовых рассылок и др. На целевые сегменты рынка предприятие выходит с конкретными наборами услуг, с сопровождением их целевыми наборами инструментов, с учетом специфики рынка и продукта. Эта стратегия обеспечивает более высокий объем продаж и меньший по сравнению со стратегией концентрированного воздействия уровень риска. Однако эта стратегия в первую очередь требует высокого уровня менеджмента организации. Необходимо создание непрерывного контакта, взаимодействия с потребителями для формирования положительно-

Классификация деловых услуг

Услуги	Характеристика услуг и потребительских предпочтений	Потребитель	Инструменты взаимодействия
– в сфере оборота недвижимости (риелторские, оценочные и др.); – полиграфические; – услуги связи; – транспортные и др.	Стандартизированный ассортимент услуг, относительно невысокая стоимость, значительное количество разрозненных потребителей, отсутствие реакции на изменение потребностей отдельных потребителей, доступность получения информации о предприятии-поставщике	Массовый	Инструменты недиффереципованного, массового воздействия: реклама, методы стимулирования сбыта и пиар (организация связи с общественностью)
– услуги исследований и разработок; – рекламные; – инженерно-строительные и архитектурные; – лизинговые (услуги по аренде оборудования); – финансовые; – образовательные; – по обеспечению безопасности предприятий; – правовые и др.	Расширенный ассортимент услуг, оптимальное соотношение цены и качества услуг, наличие групп взаимодействующих друг с другом потребителей, избирательная реакция на изменение потребностей отдельных потребителей, известность предприятия-поставщика	Сегментированный	Инструменты прямого воздействия: телемаркетинг, факсовые, электронные, почтовые рассылки и др.
– по градостроительному и ландшафтному планированию; – по обеспечению личной безопасности и др.	Индивидуализированный ассортимент услуг, гибкая ценовая политика, строго ограниченное количество индивидуальных потребителей, известность предприятия-поставщика, оперативное реагирование на изменение потребностей потребителя	Индивидуальный	Персональные продажи

го отношения потребителей к продукции предприятия. Для этого нужно использовать индивидуальную систему воздействий. Важное значение при этом приобретает применение современных информационных технологий.

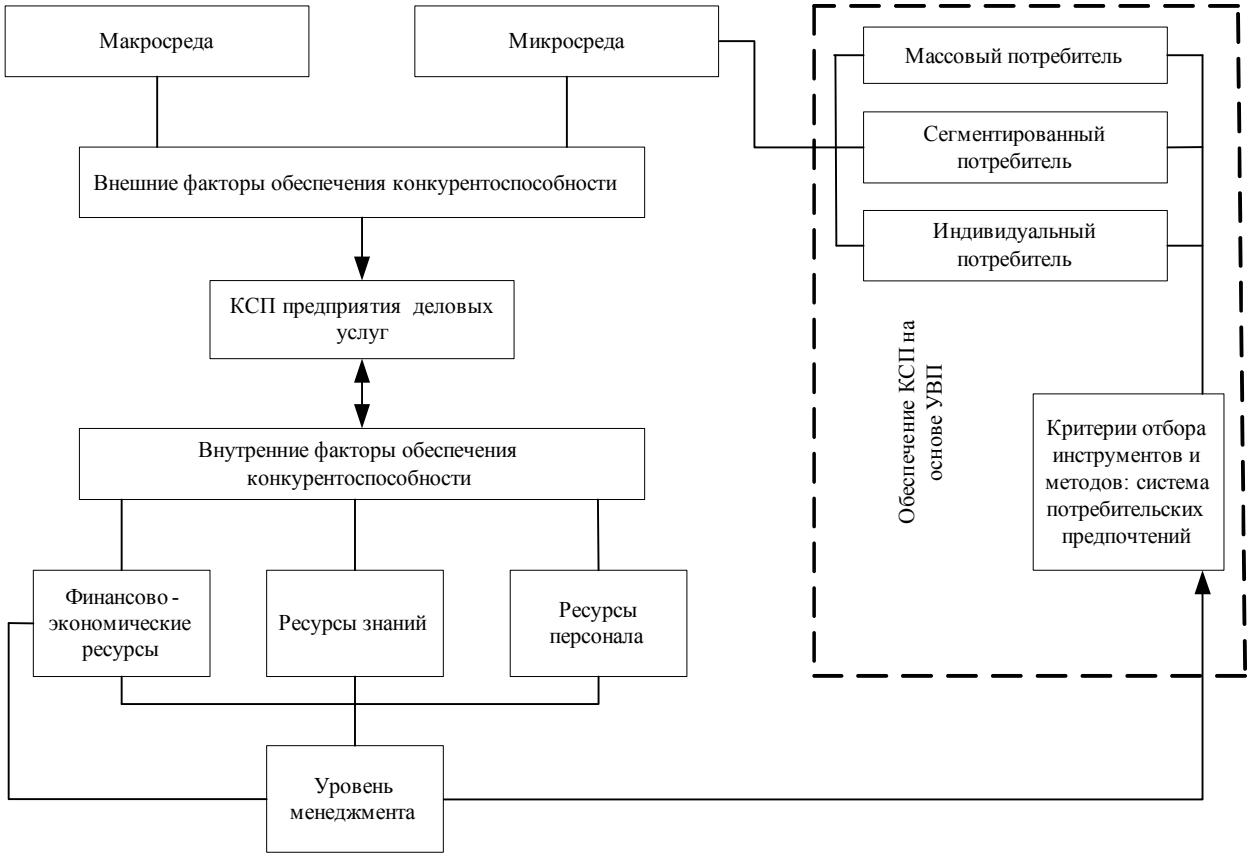
Группу «индивидуальный потребитель» составляют потребители-участники рынка, обладающие разными внутренними свойствами, но объединенные потребностью в определенных услугах. Характеристика услуг, ориентированных на систему потребительских предпочтений индивидуального потребителя, включает индивидуализированный ассортимент услуг, гибкую ценовую политику, строго ограниченное количество индивидуальных потребителей, известность предприятия-поставщика, оперативное реагирование на изменение потребностей потребителя. Для данной группы потребителей наиболее эффективна стратегия концентрированного воздействия, с применением инструментов прямого воздействия, а также персональные продажи.

В условиях нестабильности внешней среды изменения предпочтений потребителей требуют от предприятий диверсификации услуг и специализации на оказании определенного вида услуг. Своевременное выявление предпочтений потребителей, формирование услуги, и, в большей степени, выбор соответствующих инструментов донесения информации о новых услугах до потребителей позволяет своевременно охватить потребителя и тем самым значительно повысить конкурентоспособность (КСП) предприятия деловых услуг.

В современной научной литературе выделяются три основных подхода к трактовке понятия «КСП предприятия»: продуктовый, экономический, менеджерский (управленческий). Сущность *продуктового подхода* состоит в том, что приоритетным признается способность постоянного совершенствования товара (продуктового ряда). Сущность *экономического подхода* заключается в признании приоритета экономических характеристик при сравнении предприятий, наиболее общими из которых являются прибыль субъекта хозяйствования, его издержки и, как целевой параметр, соотношение между ними. *Управленческий подход* предполагает, что в достижении эффективной рыночной позиции главную роль играет качество управления предприятием и именно его совершенствованию отдается приоритет в конкурентной среде [4, с. 26–31, 34–36]. Преобладающим течением в современных условиях становится *менеджерский подход*.

Для предприятий деловых услуг, работающих на высококонкурентных рынках с устоявшимися тарифами, относительно высокой себестоимостью услуг, с ассортиментом услуг, незначительно отличающимся по своим качественным характеристикам, важнейшим фактором обеспечения КСП становится уровень менеджмента. Использование других факторов повышения КСП в значительной степени ограниченно. В этой ситуации на первый план выходит внедрение эффективных систем управления предприятием, в том числе систем управления взаимоотношениями с потребителями (УВП).

Целевая направленность в системе управления КСП предприятия на удовлетворение нужд и потребностей клиентов и применение принципов взаимодействия производителей и потребителей требует осуществления непрерывного согласования и координации инструментов продвижения.



Модель обеспечения КСП предприятия деловых услуг

Смена приоритетов – вместо обеспечения максимальной экономической эффективности в краткосрочном периоде, ориентация на долговременное сотрудничество, выстраивание партнерских отношений с потребителями, а также поставщиками и другими участниками рынка – позволяет добиваться устойчивой долговременной КСП. Эффективное использование инструментов и методов продвижения становится ведущим фактором обеспечения КСП предприятия сферы услуг.

Авторская модель обеспечения КСП предприятия деловых услуг представлена на рисунке.

С точки зрения контролируемости выделяются две группы факторов КСП: внешние и внутренние по отношению к предприятию деловых услуг. Управленческая деятельность предприятия заключается в активном приспособлении к внешним неконтролируемым факторам путем непосредственного воздействия на управляемые факторы в соответствии с установленными целями.

Потребитель является одним из внешних факторов КСП, на который предприятие может воздействовать через внутренние факторы. В условиях высокой конкуренции на рынках деловых услуг «фактор потребителя» выходит на первое место в системе обеспечения конкурентоспособности предприятия. Как было отмечено выше, существуют три основные группы потребителей: массовый потребитель, сегментированный потребитель, индивидуальный потребитель. С целью обеспечения конкурентоспособности предприятие осуществляет выбор группы потребителей (как существующих, так и потенциальных), на которую преимущественно ориентированы его услуги. Далее в зависимости от системы потребительских предпочтений выбираются инструменты и методы взаимодействия с выбранной категорией потребителей.

Система потребительских предпочтений включает индивидуализированный ассортимент услуг, гибкую ценовую политику в зависимости от объема услуг, способность выполнять значительный объем заказов, известность предприятия-поставщика, высокое качество услуг, оперативное реагирование на изменение потребностей потребителя. Для данной группы потребителей наиболее эффективна стратегия концентрированного воздействия, с применением инструментов прямого воздействия, а также персональные продажи. Используя инструменты прямого маркетинга, выясняются предпочтения предприятия-потребителя, вносятся индивидуализированные предложения по их удовлетворению, с учетом специфических нужд потребителя. На этом этапе персонал предприятия должен быть ориентирован в первую очередь не на получение максимального экономического эффекта в краткосрочном периоде, а на создание контакта с потребителем, с целью стимулирования последующих покупок, регулярного обслуживания. Таким образом, деятельность предприятия должна быть направлена на установление «партнерских» отношений с максимально возможным количеством потребителей. Установление таких отношений обеспечивает предприятию заказы в будущем, позволяет увеличить объем продаж определенному потребителю («дорастить» его до категории крупнейшего заказчика), снижает себестоимость продаж, позволяет повышать расценки без угрозы потери потребителей, и, как следствие, приводит к обеспечению долгосрочной конкурентоспособности предприятия.

В наше время – время развития мировой экономики, в частности рынка услуг, роста количества предприятий, на нем работающих, расширения спектра оказываемых услуг, обострения конкурентной борьбы, все острее встает вопрос о сохранении себя на рынке, о выживании и развитии предприятия. Эти тенденции вынуждают предприятия искать способы сохранения и расширения своей доли рынка, повышения конкурентоспособности своей продукции (услуг) и самого предприятия. В условиях насыщения предложения, ограниченного числа потребителей услуг, изменчивости предпочтений эффективные методики управления отношениями с потребителями могут стать эффективным инструментом обеспечения конкурентоспособности предприятий деловых услуг в долгосрочной перспективе.

Библиографические ссылки

1. Аутсорсинг: создание высокоэффективных и конкурентоспособных организаций. М. : Инфра-М, 2003.

2. Котлер Ф. Маркетинг услуг. М. : Бизнес-книга : ИМА-Крос Плюс, 1995.

3. Челенков А. П. Маркетинг услуг / Центр маркетинговых исслед. и менеджмента. М., 2004.

4. Васильчиков А. М. Управление конкурентоспособностью субъекта хозяйствования сферы услуг : дис. ... канд. экон. наук. СПб., 2005.

Yu. V. Danilchenko, A. S. Khozhaev

CUSTOMER RELATIONSHIPS MANAGEMENT AS THE KEY FACTOR FOR PROVISION OF BUSINESS SERVICES COMPANY COMPETITIVE ABILITY

Trends in development of the modern markets of business services stipulate need for unification of range, quality and cost of services. Tools of interaction with consumers, suggested in this article, in this context become vital element of the model providing competitiveness of business services enterprise.

Keywords: competitiveness, governance, relationships with customers, business services.

© Данильченко Ю. В., Хожаев А. С., 2010

УДК 336.71.078.3

А. А. Пархоменко

НЕОБХОДИМОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ РОССИЙСКОГО ФИНАНСОВОГО СЕКТОРА

Рассматриваются возможности модернизации российского финансового сектора в целях выхода на траекторию устойчивого развития. Затрагиваются вопросы разделения Банка России на две составляющие – денежно-кредитный регулятор и орган, отвечающий за создание системы макропруденциального надзора. Рассмотрены вопросы роста государственного сектора в банковской системе России, установления адекватного размера минимального капитала банков и создания трехуровневой банковской системы.

Ключевые слова: банк России, банковская система, макропруденциальный надзор, государственный банк, консолидация, минимальный уровень капитала.

Глобальный финансовый кризис подходит к концу, и вопрос выбора направлений развития экономики России снова актуален. Одним из важнейших уроков кризиса явилось понимание того, что рост валовых экономических показателей и качественный, опирающийся на увеличение конкурентоспособности, рост экономики не всегда совпадают. Если текущая финансовая политика, ориентированная на благоприятную внешнюю конъюнктуру, продолжится, то решение накопленных в системе структурных проблем будет отложено на будущее, в котором это решение обойдется значительно дороже.

В настоящее время есть все предпосылки для разработки и реализации стратегии выхода на траекторию устойчивого развития как финансового, так и реального секторов экономики. При этом наиболее рациональным представляется сочетание быстрого роста с достижением и сохранением его стабильности и устойчивости к внешним воздействиям.

Важнейшим элементом этой стратегии должны стать структурные преобразования в финансовом секторе, прежде всего в банковской системе, где изменения должны начаться с Центрального банка РФ (Банка России).

Одна из основных задач Банка России в долгосрочной перспективе – обеспечение низкой, устойчивой и предсказуемой инфляции, уровень которой должен быть близок к уровню инфляции у наших ближайших соседей – европейских стран. Однако в настоящее время деятельность Банка России находится под постоянным давлением различных заинтересованных сторон. Так, его политика существенно зависит от видения общей экономической ситуации со стороны Правительства РФ, самостоятельно назначающего целевые ориентиры денежно-кредитной политики, за которые Банк России несет ответственность. При этом, назначая ориентиры, правительство игнорирует влияние регулируемых тарифов на инфляцию. Отсутствие необходимой иерархии целей макроэкономической политики, и, прежде всего, подчиненности тарифной и налогово-бюджетной политики приоритету цели по инфляции приводит к низкой эффективности денежно-кредитной политики. Повышение фактической, а не номинальной независимости Банка России может произойти только в результате последовательного невмешательства правительства в вопросы управления курсом рубля и инфляцией.

В числе причин избыточного контроля за деятельностью Банка России следует назвать выполнение им большого количества функций, которые свойственны органу исполнительной власти. Это вызывает желание государственных деятелей усилить контроль за его операциями и, соответственно, приводит к ослаблению его функциональной самостоятельности.

Необходимо отметить также наличие конфликта интересов внутри Центрального банка РФ. Например, если для борьбы с инфляцией необходимо повысить процентные ставки, что, однако, может негативно сказаться на финансовых условиях некоторых коммерческих банков, перед которыми Банк России имеет регулятивные обязательства, то последний должен либо ослабить нормы регулирования, либо отказаться от подавления инфляции.

Таким образом, в независимости Банка России не заинтересован никто из участников финансового регулирования. Правительство стремится подчинить его, поскольку он выполняет функции, находящиеся в поле ответственности исполнительной власти, а сам Банк России не стремится к независимости, так как связан обязательствами по регулированию банковского рынка.

Данная проблема может быть кардинально решена путем разделения Банка России на две составляющие, первая из которых унаследует функции кредитно-денежного регулирования и сосредоточится на макроэкономических задачах, а вторая сконцентрируется на функциях регулирования и надзора за банковским сектором, впоследствии на ее базе возможно создание органа мегарегулирования и меганадзора за всем финансовым рынком (табл. 1).

Процесс интеграции, активно проходящий в финансовом секторе, консолидация финансовых организаций с формированием финансовых конгломератов и холдингов на базе крупных коммерческих банков диктует необходимость концентрации функций надзора за финансовыми организациями различных типов и на различных секторах финансового рынка в рамках единого надзорного органа. Система надзора Банка России имеет развитую инфраструктуру и высококвалифицированный персонал, поэтому создание мегарегулятора на ее базе представляется наиболее оправданным. В дальнейшем к нему могут быть присоединены другие органы, занимающиеся регулированием финансовых рынков.

Сама область финансового регулирования и надзора также требует изменений.

Действующая система микропруденциального надзора уделяет основное внимание платежеспособности и устой-

чивости отдельных банков. Однако глобальный кризис выявил ее слабые места, продемонстрировав необходимость системной работы с финансовым сектором в целом, в том числе регулирования рынков и операций, которые отражают взаимосвязи между банками, а также между банками и другими участниками финансовой системы.

Макропруденциальный надзор должен сконцентрироваться на системной стабильности финансового сектора, а не на предотвращении несостоятельности отдельных банков (табл. 2) [1]. При таком подходе особое внимание необходимо уделять системообразующим институтам и взаимосвязям в финансовом секторе, поскольку риск нарушения системной стабильности зависит от коллективного поведения участников финансовых рынков, в результате чего риски в финансовой системе для регулятора приобретают эндогенный характер.

Под макропруденциальным надзором сегодня понимают оценку риска для всей системы в целом, которая отнюдь не сводится к суммированию индивидуальных рисков. Главный инструмент макропруденциального надзора – система оценки индикаторов финансовой стабильности (чувствительность к риску, финансовый рычаг, показатели ликвидности, различные характеристики рынка сбережений и т. д.). Потенциально она должна стать эффективным механизмом оценки вероятности сбоев на финансовом рынке, возникновения кризисов.

Пока ни одной работающей системы оценки глобального системного риска не построено. Ближайшими аналогами можно считать расчеты для отдельных стран на основе макроэкономических стресс-тестов в рамках Программы оценки финансового сектора (FSAP2), которую проводят МВФ и ВБ вместе с национальными денежными регуляторами. Другими направлениями работы в этой области являются создание опережающих систем кризисных индикаторов (в основном макроэкономических) и оценок по модели VaR (value-at-risk) для финансового сектора в целом [2]. Так, в рамках Европейского союза создается новый надзорный орган, целью которого будет мониторинг системных рисков – European Systemic Risk Council (ESRC).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что мировое сообщество уделяет особое внимание мониторингу системных рисков и предотвращению их передачи между различными сегментами финансового рынка, а также в реальный сектор экономики. К сожалению, в России ситуация принципиально иная: нет ни исследований системного риска, ни систем мониторинга, ни специальных органов, занимающихся подобными проблемами. Сложившаяся ситуация требует срочного изменения.

Еще одна существенная особенность российского банковского сектора – доминирующая собственность государства на нем. Это обусловлено целым рядом факторов: государственные банки имеют преимущества в обслуживании финансовых потребностей государства и госкорпораций, в них размещаются существенные объемы бюджетных ресурсов, в капитал этих банков осуществляются прямые государственные инвестиции, они обеспечены административной поддержкой со стороны властей и уже имеют сформировавшийся имидж носителей стабильности и надежности.

В результате в течение последнего десятилетия размер государственной собственности на активы банковского сектора постоянно рос. Так, если в 2001 г. на государственные и квазигосударственные (частные, но контролируемые государством) банки приходилось около 36,3 % совокупных активов банков, то в 2009 г. их доля увеличилась до 54,2 % [3].

Сегодня Россия стала относиться к немногочисленной группе стран с ярко выраженной государственной собственностью в банковском секторе. Среди стран постсоветского пространства банки с государственным участием доминируют только там, где рыночные преобразования в самом начале пути – в Узбекистане, Беларуси и Туркменистане (см. рисунок) [4].

В ситуации, когда доля госсектора превышает 50 %, количественные изменения перешли в качественные и на банковском рынке появились элементы распределительной экономики. Так, например, каждому из государственных банков были поставлены задачи по увеличению портфеля кредитов на 2-й квартал 2009 г., предпринимаются попытки контроля над ценами (верхний предел ставки по кредитам и частным депозитам), не говоря уже о публичном личном контроле со стороны первых лиц государства. В то же время доля частного сектора неуклонно

Таблица 1

Распределение функций Банка России

Функции Банка России как денежно-кредитного регулятора	Функции Банка России как органа надзора в банковском секторе
– разработка и проведение единой государственной денежно-кредитной политики (во взаимодействии с Правительством РФ); – эмиссия наличных денег и организация наличного денежного обращения; – организация системы рефинансирования кредитных организаций в качестве кредитора последней инстанции; – управление золотовалютными резервами; – составление платежного баланса РФ; – анализ и прогнозирование состояния экономики Российской Федерации в целом и по регионам, прежде всего денежно-кредитных, валютно-финансовых и ценовых отношений	– установление правил осуществления расчетов и проведения банковских операций в Российской Федерации; – принятие решений о государственной регистрации кредитных организаций, выдача кредитным организациям лицензии на осуществление банковских операций; – надзор за деятельностью кредитных организаций и банковских групп; – регистрация эмиссии ценных бумаг кредитными организациями; – валютное регулирование и валютный контроль; – установление правил бухгалтерского учета и отчетности для банковской системы Российской Федерации

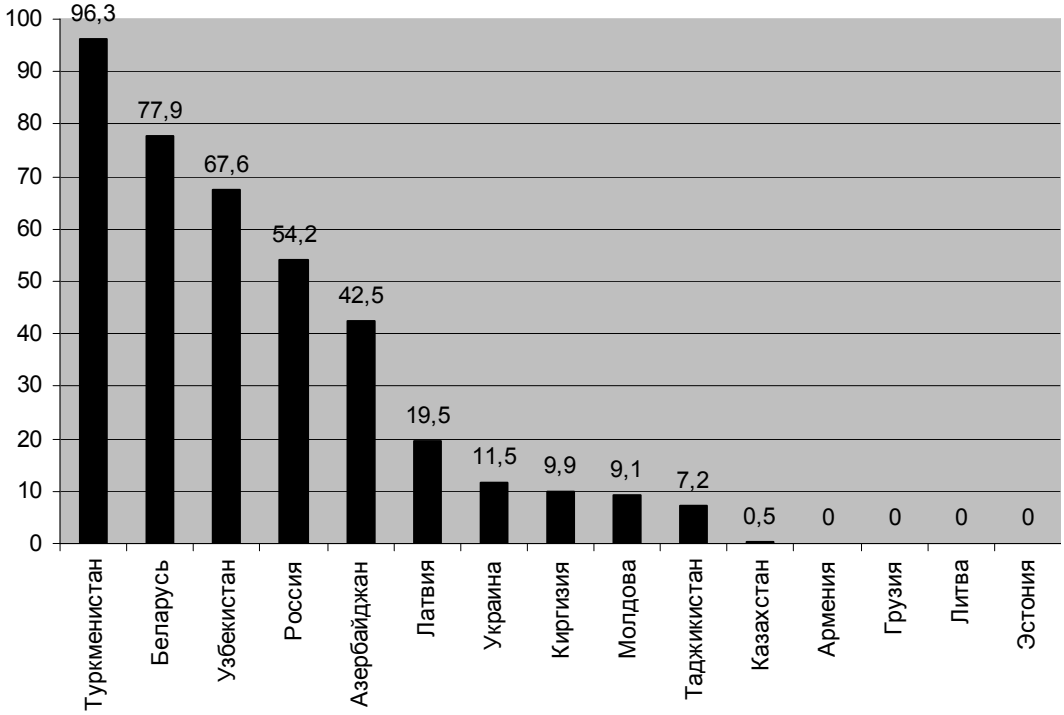
сжимается из года в год, рынок банковских услуг концентрируется на одном полюсе: четыре банка, контролируемых непосредственно государством (Сбербанк, ВТБ, Россельхозбанк и Банк Москвы), удерживают 81,7 % активов среди банков данной категории и 42,9 % всех банковских активов страны [3].

Необходимо отметить, что огосударствление банковского сектора имеет свои положительные стороны. Исполнительная власть может рассчитывать на высокую устойчивость банковского сектора к финансовым потрясениям; банки с государственным участием можно директивно заставить выполнять национальные задачи; экспансия иностранных банков затруднена наличием различных преференций для госбанков; Банк России подвергается минимальным кредитным рискам, поскольку государственные банки составили не предусмотренный законом третий, промежуточный уровень банковской системы, именно через них в экономику и другим участникам рынка теперь поступают основные ресурсы.

Однако использование властями госбанков в качестве финансовых агентов вызывает целый ряд негативных эффектов. Если частные банки заботит максимизация прибыли или капитализации, то госбанки не имеют четко обозначенной целевой функции. Они осуществляют полноценную деятельность коммерческих организаций, получивших преференции со стороны государства и обладающих нерыночными конкурентными преимуществами, поскольку имеют возможность использовать как финансовые, так и административные ресурсы государства. Целевые установки госбанков приводят к снижению или даже исчезновению конкуренции в отдельных областях деятельности и замедлению развития финансовых инноваций. В ряде случаев банки с государственным участием устанавливают цены на финансовые услуги, значительно отклоняющиеся от рыночных. Это может проявляться как в необоснованном завышении цен на свои услуги в отношении клиентов, «привязанных» к госбанкам, так и занижении цен для вытеснения конкурентов с рынка.

По мере разрастания госбанков денежно-кредитная политика становится все менее способной влиять на реальный сектор экономики, а Банк России теряет способность рыночными операциями воздействовать на конъюнктуру рынка. В итоге на место рынка приходят элементы административного управления экономикой.

Несмотря на очевидные негативные аспекты деятельности госбанков, кардинальное изменение структуры



Государственная собственность на банковские активы в странах постсоветского пространства, %

Таблица 2

Сравнительный анализ микро- и макропруденциальных подходов к надзору в финансовом секторе

Критерии	Макроподход	Микроподход
Ближайшая цель	Ограничение негативных процессов, охвативших финансовую систему	Ограничение негативных процессов на уровне отдельных учреждений
Долгосрочная цель	Предотвращение сокращения ВВП	Защита потребителей (инвесторов, вкладчиков)
Модель описания риска	Эндогенная (частично)	Экзогенная
Взаимозависимость между учреждениями	Высокая	Нет подтверждений
Выбор мер пруденциального контроля	На основе оценки негативных процессов в финансовой системе (сверху вниз)	На основе оценки рисков, которым подвержены отдельные учреждения (снизу вверх)

собственности в российском банковском секторе маловероятно.

Основная причина – отсутствие потенциальных альтернативных собственников. Кризисы, которые пережила банковская система в последнее десятилетие, приводили к уходу с рынка частных банков, поскольку их владельцы не могли восстановить отрицательный капитал своих банков или считали, что у банковского бизнеса отсутствуют перспективы. На рынке оставались госбанки, капитал которых пополнялся государством в необходимом объеме. Кроме того, в долгосрочной перспективе банковская деятельность на российском рынке не обладает достаточной инвестиционной привлекательностью, поскольку высокая инфляция и регулярные банковские кризисы приводят к тому, что реальная рентабельность этого бизнеса близка к нулю. Так, за 1998–2009 гг. прибыль банков составила в реальном выражении менее 3 % от капитала [5]. И еще один немаловажный фактор – дефицит сбережений на внутреннем рынке, в результате чего основной объем инвестиций может быть привлечен только из-за рубежа. Но в этом случае наиболее вероятным сценарием является потеря национального контроля над значительной частью банковского сектора.

Таким образом, в ближайшем будущем смена собственности в крупнейших российских банках не представляется возможной, хотя уже сейчас можно обозначить ряд мер, способствующих ее достижению в долгосрочной перспективе.

Во-первых, необходимо рассматривать варианты частичной приватизации крупнейших госбанков, позволяющей диверсифицировать структуру их собственности.

Во-вторых, ограничить ничем не обоснованное разрастание госбанков за счет бюджетных и административных ресурсов, ведущее к искажению принципов конкуренции.

В-третьих, оптимизировать государственную собственность в банковском секторе, полностью ликвидировав доли государства в небольших банках, сосредоточившись на участии в банках, являющихся институтами развития.

Следующий элемент, который должен найти отражение в стратегии развития банковского сектора – его консолидация. В настоящее время Россия занимает третье место в мире по количеству банков (1 056 по состоянию на 01.02.10 г. по данным cbr.ru). Самое большое число банков в США – более 6 тыс., на втором месте Германия, где работает свыше 2 тыс. банков, причем более половины из них – кооперативные. Не вызывает сомнений тот факт, что с ростом территории стране нужно больше банков, в то же время на первые две сотни российских банков приходится около 94 % совокупных активов сектора, доля остальных игроков незначительна и постоянно сокращается.

Необходимо также отметить, что степень концентрации в российском банковском секторе ниже среднемировой. Рыночная доля пяти ведущих банков в России достигает 46 %, в то время как в Европе она колеблется вокруг 60 % (от 22 % в Германии до 96 % в Эстонии) [6]. Тенденции на мировых рынках показывают, что рост концентрации представляет собой естественное развитие рынка и крупным российским банкам предстоит стать еще сильнее и крупнее. Основной элемент стимулирования этого процесса – повышение требований к капиталу банков.

Следует отметить, что ужесточение данного условия лицензирования имеет как положительные, так и отрицательные эффекты. К положительным эффектам относятся:

– снижение кредитных ставок – чем больше банк, тем меньше средние процентные расходы по его обязательствам и меньше процентные ставки для заемщиков из реального сектора;

– увеличение денежного предложения за счет роста кредитного мультипликатора – небольшие банки вынуждены поддерживать высокую ликвидность из-за недиверсифицированной клиентской базы, поэтому банковские ресурсы в достаточной мере не используются эффективно; консолидация сектора обеспечит увеличение денежного предложения в результате расширения кредитования;

– укрупнение банков – сегодня средний российский банк представляет собой весьма скромную по размерам организацию, не способную удовлетворить потребности крупных предприятий, поэтому стимулирование укрупнения позволит создавать банки адекватного запросам экономики масштаба;

– повышение эффективности распределения финансовых ресурсов – информационное преимущество крупных игроков, способных осуществлять мониторинг значительной части рынка, выражается в более низкой информационной асимметрии и более эффективном распределении ресурсов.

В то же время в числе отрицательных эффектов концентрации банковского капитала необходимо отметить:

– снижение рыночной конкуренции – сокращение количества игроков на рынке может привести к усилению влияния крупных банков, что позволит им устанавливать заниженные процентные ставки по депозитам и завышенные ставки по кредитам;

– снижение кредитного предложения за счет роста рационирования кредита – стремление минимизировать риски у крупных банков может привести к отсечению от кредитования более рискованных заемщиков, что в долгосрочном периоде приведет к снижению инновационной активности и замедлению темпов экономического роста;

– дестабилизация региональных экономических систем в периоды кризисов – местные филиалы столичных банков в периоды кризисов осуществляют перевод активов в свои центральные офисы для аккумуляции ликвидности, погашения внешних долгов и решения других задач, а региональные экономические системы при отсутствии местных банков оказываются беззащитными перед лицом потенциальных потрясений.

Еще один довод против чрезмерной консолидации на банковском рынке – риск системной нестабильности. Крупные банки более доходны, их активы хорошо диверсифицированы и за ними легче осуществлять банковский надзор. В теории это должно повысить устойчивость крупных банков к шокам и сделать финансовую систему стабильнее. Однако практика показывает, что государство рассматривает крупные банки как «слишком большие, чтобы обанкротиться» (too big to fail) и поддерживает их в периоды нестабильности. В свою очередь, крупные банки, рассчи-

тывая на помощь государства, становятся более склонными к рискам, т. е. более неустойчивыми. Опыт последних банковских кризисов свидетельствует, что угрозы системной нестабильности исходят в основном от крупных банков, а чем выше численность игроков в секторе, тем ниже издержки на его санацию и реструктуризацию.

Вопрос об адекватном размере минимального капитала банков в России активно дискутируется в банковском сообществе. Так, в ноябре 2009 г. заместитель Председателя Правительства – министр финансов А. Л. Кудрин заявил, что готов инициировать законопроект об увеличении минимального капитала российских банков в течение пяти лет до 1 млрд руб. Действительно, одно из важнейших несоответствий между финансовым и реальным секторами в России – маленький размер российских банков. Их слабые финансовые возможности объясняют, почему реальный сектор обратился к зарубежному финансированию, причем уровень долгов перед нерезидентами в настоящее время сопоставим с уровнем внутреннего корпоративного кредитования.

Однако многочисленная группа региональных банков, насчитывающая несколько сотен организаций, будет не в состоянии нарастить собственный капитал ни до уровня, соответствующего финансовым потребностям ведущих российских предприятий, ни до уровня, обозначенного Правительством РФ. В то же время эта группа банков могла бы способствовать снижению воздействия упомянутых выше отрицательных эффектов консолидации. Оптимальный путь сохранения этих банков – выделение их в отдельный класс, к которому будет применяться специальный режим пруденциального надзора в зависимости от профиля рисков.

В большинстве стран, где банковский сектор насчитывает сотни игроков, существует несколько категорий банков, к которым, в зависимости от специфики деятельности, предъявляются разные требования. Если учесть международный опыт, целесообразно не принуждать небольшие банки к закрытию или консолидации, а позволить им выбрать свою нишу и в дальнейшем в ней работать.

В результате реализации данного предложения в России будет сформирована многоуровневая банковская система с позиции банковского регулирования. Банк России будет представлять первый уровень национальной банковской системы. Второй уровень составят федеральные банки с генеральной лицензией и большим собственным капиталом (например, от 100 млн евро), которые смогут проводить весь перечень банковских операций, действовать на территории всей страны и иметь выход на зарубежные финансовые рынки. Третий уровень системы будет образован отдельными группами банков федеральных округов, субъектов федерации и городов. Их лицензии будут предусматривать ограничения по минимальному собственному капиталу, по территории функционирования (на которой банк может открывать отделения) и перечню банковских операций.

В заключение необходимо отметить, что без структурных преобразований российскому финансовому сектору сложно или практически невозможно содействовать поступательному развитию реального сектора экономики и противодействовать внешним шокам. Только соответствующая модернизация банковской системы России способна обеспечить более устойчивый экономический рост и укрепление конкурентных позиций России в глобальной экономике.

Библиографические ссылки

1. Саркисянц А. Проблемы банковского надзора [Электронный ресурс] // Бухгалтерия и банки. 2008. № 6. URL: bankir.ru/publication/regulation/1379862 (дата обращения: 11.08.2009).

2. Крейндель В. Кто измерит системный риск? [Электронный ресурс] // Ин-т фин. исслед. 31.07.2009. URL: ifs.ru/upload/systemicrisk_31july.pdf (дата обращения: 14.08.2009).

3. Верников А. Доля государственного участия в банковской системе России // Деньги и кредит. 2009. № 11. С. 4–14.

4. Процесс перехода и показатели стран СНГ и Монголии в 2009 году. Процесс перехода в кризисе? [Электронный ресурс] : докл. экон. департамента ЕБРР под общ. руководством Э. Берглофа. URL: ebrd.com (дата обращения: 13.04.2010).

5. Моисеев С. Перспективы приватизации в банковском секторе // Аналит. банковский журн. 2010. № 1 (176). С. 46–50.

6. Государство и банки: круговорот рисков [Электронный ресурс] // Помощь бизнесу. 23.06.09. URL: bishelp.ru/gde_dengi/detail.php?ID=80372 (дата обращения: 11.08.2009).

A. A. Parkhomenko

NECESSITY AND PROBLEMS OF THE RUSSIAN FINANCIAL SECTOR MODERNIZATION

In the article p*ossibilities of modernization of the Russian financial sector for the purpose of a transition to sustainable development trajectory are considered. Questions of the Bank of Russia division on two constituents– a monetary regulator and the part which is responsible for creation of macroprudential supervision system are mentioned. Questions of state-owned banks share growth in Russian banking system, establishments of the adequate minimum level of capital and creation of three-level bank system are considered.*

Keywords: Bank of Russia, banking system, macroprudential supervision, state-owned bank, consolidation, the minimum level of capital.

© Пархоменко А. А., 2010

УДК 332.025.12

О. И. Карелин, Н. В. Нестерова

ТЕНЕВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены проблемы развития малого предпринимательства, причины перевода деятельности малых предприятий в «тень», предложены пути снижения мотивации теневизации деятельности малых предприятий.

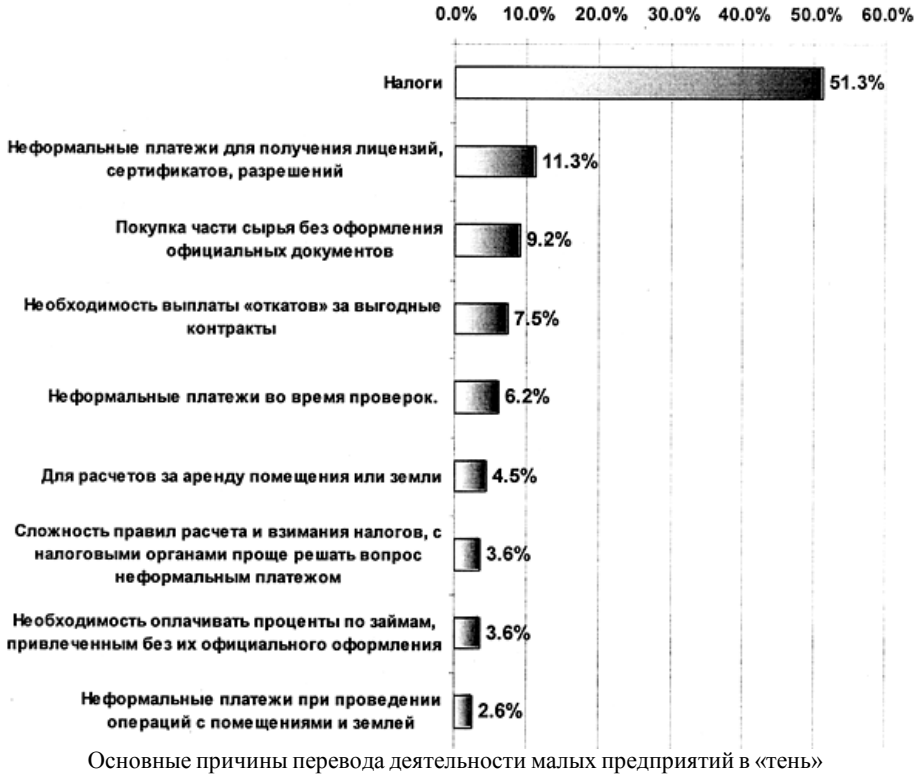
Ключевые слова: малое предпринимательство, теневая экономика, теневой механизм инвестирования, меры поддержки малого бизнеса

Теневая экономика является составной частью экономической системы любого государственного строя и особенно бурно развивается в переломные моменты социально-экономического развития. В период становления рыночной экономики условия для роста теневых отношений становятся наиболее благоприятными. Это подтверждает как мировая история, так и история развития России: в 1990-е гг. (период рыночных реформ) объем теневого сектора экономики в России составил, по оценкам экспертов, более 40 % ВВП страны [1].

В результате проведенных экономических преобразований в России была сформирована предпринимательская среда, в которой максимально были учтены интересы государства и практически не учитывались интересы субъектов предпринимательской деятельности. Налоговые режимы, финансово-кредитные механизмы, экспортная политика – все было сформировано с целью максимального изъятия у предпринимателя полученной им прибыли. Расчеты показывают, что в отдельных случаях налоговая нагрузка на мини-уровне составляла более 163 % [2], т. е. предприниматель должен был отдать государству в уплату налоговых и других обязательных платежей не только всю заработанную в процессе своей деятельности прибыль, но еще и изыскать на эти цели дополнительные средства. Такая ситуация полностью лишала смысла ведение субъектами легальной экономической деятельности.

Особенно остро эта проблема стояла перед наиболее слабой частью предпринимательского сообщества – малым предпринимательством. Чтобы выжить, субъектам малого бизнеса приходилось лавировать и приспосабливаться к экономическим условиям, используя все возможные способы, в том числе и незаконные, уводящие экономическую деятельность в «тень». Проведенные учеными НИСИПП исследования показали, что кроме высоких налогов, причинами перевода части деятельности в «тень» являлись и неформальные платежи различным разрешающим и проверяющим структурам, и осуществление неформальной деятельности партнерами (см. рисунок) [3].

В последнее время малое предпринимательство рассматривают как один из основных резервов развития экономики. В условиях кризиса его возможности особенно востребованы. Малое предпринимательство, не требуя крупных инвестиций на старте, способно оперативно создавать рабочие места, решать проблемы насыщения рынка потребительскими товарами и услугами при ограниченных финансовых ресурсах, достаточно активно и успешно участвовать в реструктуризации экономики, формировать в обществе «идеологию предприниматель-



Основные причины перевода деятельности малых предприятий в «тень»

ства». Учитывая, что по данным официальной статистики в 2008 г. на долю малого предпринимательства приходилось более 25 % оборота организаций по всем видам деятельности, а по отдельным видам деятельности этот показатель превысил 40 % (см. таблицу), снижение теневой доли в экономике малого предпринимательства может рассматриваться в качестве потенциального ресурса развития национальной экономики.

Соотношение между легальной и теневой частями бизнеса зависит от условий, устанавливаемых институциональной средой. Таким образом, если государство хочет увеличить долю легальной официальной экономики, то его политика должна быть направлена на создание благоприятного делового климата в стране, сохраняющего баланс интересов бизнеса и власти, на создание эффективного мотивационного механизма, стимулирующего предпринимательскую деятельность. Политика государства должна основываться на непротиворечивом и выполнимом законодательстве, исключающем неоднозначное толкование и усложненность административных и правоприменительных процедур, а также на практике заблаговременного информирования участников рынка о грядущих изменениях в законодательстве, что в конечном счете должно привести к увеличению легальной доли экономики.

В российской государственной политике в настоящее время наступил качественно новый этап в сфере содействия государства развитию малого предпринимательства. На этом этапе четко прослеживается нацеленность государства на создание концептуального подхода к развитию малого бизнеса. Эффективность всей системы управления малым предпринимательством зависит от рационального сочетания методов и инструментов государственной и негосударственной поддержки субъектов данного сектора экономики.

Анализируя количество мер государственной поддержки и объемы бюджетных средств, направленных на эти цели, можно констатировать, что в последние годы они достигли значительных масштабов. За 4 года (2006–2009) только из бюджета Красноярского края на поддержку субъектов малого и среднего предпринимательства, а также организаций, образующих инфраструктуру поддержки СМСП, было направлено более 510 млн руб., из них 250 млн руб. – в 2009 г. [4]. Увеличено количество мер финансовой поддержки: от возмещения части расходов на возмещение процентных ставок по кредитам до возмещения расходов на приобретение оборудования, выставочно-ярмарочную деятельность, открытие бизнеса, разработку бизнес-планов, а также на льготы малому бизнесу при выкупе арендуемого государственного и муниципального имущества.

Для реализации вступившего в силу с 1 января 2008 г. Федерального закона № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» принят целый пакет нормативных документов, улучшающих и упрощающих условия ведения бизнеса малыми предприятиями, в том числе закон и поправки к нему о проверках малого бизнеса контролирующими органами. Также отменено обязательное применение кассовых аппаратов предприятиями, уплачивающими единый налог на вмененный доход; снижены технические требования и стоимость подключения малых предприятий к энерго-, газо- и водоснабжению; вступили в силу поправки в федеральный закон, расширяющие привлечение СМСБ к выполнению государственных и муниципальных заказов.

Несмотря на принимаемые меры поддержки малого бизнеса и увеличение их объема в кризисный 2009 г., отмечается рост теневой экономики. По данным Института национальной стратегии, в «тени» находится около 55–60 % экономики, особенно в таких сферах деятельности, как торговля, сфера общественного питания, производство пищевых продуктов, строительство [5]. Это сферы деятельности, в которых традиционно большую долю занимают малые предприятия и индивидуальные предприниматели: по данным Росстата, оборот малых предприятий в сфере торговли за 9 месяцев 2009 г. составил 59,9 % к общему объему оборота малых предприятий, в строительстве в 2008 г. этот показатель равен 11,5 % (см. таблицу).

Подтверждением того, что малые предприятия уходят в сферу нелегальной деятельности, может свидетельствовать и негативная динамика развития малого бизнеса за последние два года[1]. На конец 2008 г. число малых предприятий снизилось по отношению к первому квар-

Удельный вес малых предприятий в обороте организаций по отдельным видам деятельности в 2008 г.

Виды деятельности	в % к общему обороту
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	23,2
Рыболовство, рыбоводство	30,0
Обрабатывающие производства	10,7
Строительство	42,9
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	39,0
Гостиницы и рестораны	45,2
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	33,6
По всем видам деятельности	25,2

Подсчитано по: Российский статистический ежегодник – 2009. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b09_13/IssWWW.exe/Stg/html3. Табл.12.5, 12.7.

[1] В связи с вступлением в силу с 01.01.2008 г. нового закона о развитии малого и среднего предпринимательства, установившего новые критерии отнесения субъектов предпринимательства к малому бизнесу, провести корректную ретроспективную оценку динамики развития сектора малого предпринимательства, например, за период 2004–2009 гг. не представляется возможным.

талу на 1,5 %. Прирост среднесписочной численности занятых на малых предприятиях составил за 2008 г. 2,4 %, тогда как за 2007 г. этот показатель составлял 7,6 %.

В условиях кризиса при росте высвобождения работников с предприятий параллельно всегда наблюдался рост самозанятости населения, т. е. развитие индивидуального и малого предпринимательства. По данным же Федеральной налоговой службы в 2009 г. появилось на 45 % меньше малых предприятий и на 46 % меньше индивидуальных предпринимателей, чем за тот же период 2008 г.; 250 тыс. предприятий закрылись, что на 100 тыс. больше, чем в первом полугодии 2008 г. [6]. Можно предположить, что большинство высвободившихся работников стало работать в «тени».

Это предположение подтверждается и тем фактом, что при снижении за 9 месяцев 2009 г. к аналогичному периоду 2008 г. объема инвестиций на малых предприятиях на 21 %, снижение оборота малых предприятий произошло лишь на 15,6 %. Эту противоречивую ситуацию можно объяснить использованием предпринимателями теневого механизма инвестирования, что подтверждается и данными Росфинмониторинга о росте теневого кредитования экономики в 2009 г., особенно в сфере торговли и риелторских услуг [7].

В условиях финансового кризиса доступность кредитных ресурсов для малого бизнеса значительно снизилась: расценивая малый бизнес как бизнес с высокой степенью риска, кредитные организации повысили для него ставки по кредитам, дисконтировали залоги, снизили объемы возможных к выдаче средств. В таких условиях предприниматели вынуждены изыскивать средства для существования своего бизнеса и зачастую эти средства привлекаются на короткий срок и на неформальной основе. Механизм теневого краткосрочного инвестирования действует в ситуации, когда возникает спрос на новую продукцию, производство либо реализация которой не требует значительных капитальных затрат, но обещает при этом быструю прибыль.

Решению проблемы снижения объемов теневого инвестирования, на наш взгляд, могло бы способствовать усиление роли банков в развитии малого предпринимательства через расширение их участия в реализации целевых программ государственной поддержки малого бизнеса. Для этого вместе с банковскими институтами необходимо усовершенствовать механизмы государственных гарантий по кредитованию малого бизнеса, в том числе через государственные залоговые фонды.

Фактором снижения привлечения малым предпринимательством теневых средств для осуществления деятельности могло бы стать также расширение участия малого бизнеса в производстве товаров (услуг) для государственных и муниципальных нужд. Однако внесенные в 2008–2009 гг. изменения в федеральный закон от 21.07.2005 г. № 94-ФЗ не смогли решить всех проблем обеспечения малого предпринимательства доступом к госзаказам. Особенно требует проработки вопрос о создании таких условий для местных производителей.

При этом авторы считают, что государственная политика поддержки малого предпринимательства не должна сводиться к защите бизнеса от конкуренции или созданию для него особых, «тепличных» условий, а обеспечению таких, которые бы постоянно стимулировали ведение легального бизнеса, повышение конкурентоспособности фирмы, особенно на базе технологического совершенствования.

Библиографические ссылки

1. Елисеева И. И., Щирина А. Н., Капралова Е. Б. Определение объема теневой деятельности на основе макроэкономических показателей // Вопросы статистики. 2004. № 4. С. 21.

2. Юрченко В. Р. Регулирование налоговой нагрузки как фактора развития производства : автореф. дис. … канд. экон. наук. М., 2007.

3. Трофимова Ж. Бой с тенью // Рос. бизнес-газета. 2007. № 605.

4. Закон Красноярского края от 06.12.2005 г. № 16-4140 «О краевой целевой программе „Государственная поддержка и развитие малого предпринимательства в Красноярском крае на 2006–2007 гг.“» ; Закон Красноярского края от 08.10.2007 г. № 4-1130 «О краевой целевой программе „Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства в Красноярском крае на 2008–2010 гг.“» [Электронный ресурс] // Красноярский край : офиц. портал. URL: http://www.krskstate.ru/ (дата обращения: 11.07.2010).

5. Крючков М., Зубченко Е. Цифры с подсветкой [Электронный ресурс] // Новые известия. 13 авг. 2009 г. URL: http://www.newizv.ru/news/2009-08-13/113196/ (дата обращения: 13.10.2009).

6. Выступление президента Общероссийской общественной организации малого и среднего предпринимательства «Опора России» Сергея Борисова [Электронный ресурс] / материалы пресс-конф. «Деньги для малого бизнеса: господдержка, кредиты, информ. ресурсы» // Опора России : сайт. 28 сент. 2009. URL: http://www.opora.ru/press/lenta/2009/09/29/ (дата обращения: 13.10.2009).

7. Склярова И. Разведка донесла // Время новостей. 2009. № 128.

O. I. Karelin, N. V. Nesterova

SHADOW ACTIVITY OF SMALL ENTERPRISES

The article considers problems of development of small business, the reason of transfer of activity of small enterprises to “shade”, and suggests the ways of decrease in motivation of transfer to “shade”.

Keywords: small business, shadow economy, shadow mechanism of investment, small-scale business support measures.

© Карелин О. И., Нестерова Н. В., 2010

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алгазин Евгений Игоревич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры общей электротехники Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский государственный технический университет в 1984 г. Область научных интересов – инвариантные системы передачи информации. E-mail: nat_gus@ngs.ru.

Антамошкин Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Томский государственный университет в 1973 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация. E-mail: oleslav@mail.ru.

Баженов Геннадий Егорович – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики предприятий Новосибирского государственного технического университета. Окончил Томский государственный университет в 1963 г. Область научных интересов – инновационные процессы в экономике. E-mail: bge_139@mail.ru.

Бактеев Владимир Николаевич – аспирант кафедры систем радиосвязи Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Сибирский государственный университет телекоммуникаций и радиосвязи в 2006 г. Область научных интересов – оптимизация местоположения радиотелевизионной передающей станции. E-mail: wowan005@yandex.ru.

Балобан Тарас Евгеньевич – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – управление рисками. E-mail: baloban86@mail.ru.

Баркин Сергей Михайлович – студент четвертого курса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – автоматизация технологических процессов и производств. E-mail: sahanskiy@yandex.ru.

Бей Николай Арсеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных систем и устройств Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. Окончил Московское высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана в 1959 г. Область научных интересов – антенная техника. E-mail: bei@mx.bmstu.ru.

Бельков Алексей Викторович – младший научный сотрудник Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 2006 г. Область научных интересов – компьютерное моделирование космических рефлекторов, прочность. E-mail: khirurg@si8bmail.com.

Богданов Валерий Васильевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1978 г. Область научных интересов – неразрушающий контроль сварных соединений, проектирование сварных конструкций и технология электронно-лучевой сварки. E-mail: sibniitm@yandex.ru.

Бойко Оксана Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1985 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, теория автоматического управления, композиционные материалы. E-mail: bouko@sibsau.ru.

Бутов Владимир Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 1968 г. Область научных интересов – численное моделирование в задачах механики газа и жидкости, тепломассообмена и механики твердого деформируемого тела, оптимизация. E-mail: bvg@niipmm.tsu.ru.

Бухтояров Владимир Викторович – бакалавр техники и технологий по направлению «Системный анализ и управление», магистрант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии, моделирование сложных систем, компьютерные технологии. Т. 8-983-150-54-64.

Васильев Сергей Иванович – декан факультета нефти, газа и технологических машин, доцент кафедры подъемно-транспортных машин и роботов Института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1975 г. Область научных интересов – трение и износ, промышленная безопасность. E-mail: S-vasilev1@yandex.ru.

Величко Александр Иванович – начальник отдела ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского государственного политехнического института в 1977 г. Область научных интересов – антенно-фидерные устройства. Т. 8(39197)64-165.

Владимирова Ольга Николаевна – кандидат экономических наук, профессор, доцент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Алтайский государственный университет в 1992 г. Область научных интересов – финансы и кредит. E-mail: olgav@akadem.ru.

Воейкова Ольга Борисовна – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1994 г. Область научных интересов – инновационное развитие региона, интеграция высшей школы и промышленности в регионе, высокотехнологичные производства, аэрокосмическое образование. E-mail: olgavoeykova@yandex.ru.

Воркулева Анна Викторовна – студент кафедры бухгалтерского учета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – управленческий учет, контроллинг, бухгалтерский учет. Т. 8(391)291-92-94.

Герюков Аскер Шамилевич – ведущий инженер-технолог отдела главного сварщика ОАО «Красноярский машиностроительный завод», аспирант кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – неразрушающий контроль сварных соединений, технологии и оборудование сварочного производства и методы повышения качества и надежности сварных конструкций. E-mail: asker.ru_83@mail.ru.

Горяшин Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – силовая электроника, преобразовательная техника, управление в нелинейных системах. E-mail: gorkoya@mail.ru.

Гохфельд Юлия Сергеевна – аспирант Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный университет в 2005 г. Область научных интересов – физическая химия высокотемпературных сверхпроводников и других оксидных материалов. E-mail: smp@iph.krasn.ru.

Данилин Артем Игоревич – аспирант лаборатории таксации и лесопользования Института леса имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Сибирский технологический институт в 2004 г. Область научных интересов – лесоустройство и лесная таксация, дистанционные методы зондирования, лазерная локация. E-mail: danilin@ksc.krasn.ru.

Данилин Игорь Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, ведущий научный сотрудник лаборатории таксации и лесопользования Института леса имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Сибирский технологический институт в 1980 г. Область научных интересов – проблемы природопользования и мониторинга природных систем, дистанционные методы зондирования лесов. E-mail: danilin@ksc.krasn.ru.

Данилова Елена Андреевна – аспирант кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – управление информационной безопасностью. E-mail: omni86@mail.ru.

Данильченко Юрий Витальевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1995 г. Область научных интересов – устойчивое развитие предприятий, теория конкуренции и конкурентоспособности. E-mail: danilchenko@sibsau.ru.

Деев Прохор Олегович – аспирант кафедры компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – механика деформируемого твердого тела, механика тонкостенных конструкций. E-mail: prokhor777@gmail.com.

Джежора Алексей Анатольевич – руководитель проектов исполнительной дирекции ООО «Техпроминжиниринг». Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 2000 г., Московский авиационный институт в 2002 г. Область научных интересов – стратегический и инновационный менеджмент. E-mail: dzhezhora@rambler.ru.

Доррер Георгий Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системотехники Сибирского государственного технологического университета. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт в 1960 г. Область научных интересов – моделирование и управление процессами охраны лесов от пожаров, методологии разработки информационных систем. E-mail: dorrer@akadem.ru.

Ерохов Павел Михайлович – начальник сектора проектирования ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Томский политехнический университет в 1993 г. Область научных интересов – проектирование и сопровождение встроенного программного обеспечения систем управления. Т. 8(391)976-44-80.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, профессор, декан финансово-экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Алтайский политехнический институт имени И. И. Ползунова в 1985 г., аспирантуру Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина в 1989 г. Область научных интересов – стратегический и инновационный менеджмент. E-mail: yuri_erygin@mail.ru.

Жирнова Екатерина Александровна – кандидат философских наук, доцент кафедры управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Государственную академию цветных металлов и золота в 2002 г. Область научных интересов – менеджмент качества. E-mail: kasyl@yandex.ru.

Жуков Андрей Петрович – научный сотрудник Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета. Окончил Новосибирский государственный университет в 1983 г. Область научных интересов – численное моделирование в задачах механики газа и жидкости, тепломассообмена и механики твердого деформируемого тела. E-mail: bvg@niipmm.tsu.ru.

Жукова Екатерина Сергеевна – инженер студенческого центра управления полетами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – информационные технологии, защита информации. E-mail: zhykova_k@mail.ru.

Журавлев Виктор Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1980 г. Область научных интересов – эксплуатация ракетных двигателей. Т. 8-903-924-45-88.

Зимин Владимир Николаевич – доктор технических наук, доцент кафедры космических аппаратов и ракетносителей Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. Окончил Московское высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана в 1980 г. Область научных интересов – раскрывающиеся крупногабаритные космические конструкции. E-mail: niism@sm.bmstu.ru.

Золотарев Вячеслав Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Института информатики и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – управление информационной безопасностью. E-mail: amida@land.ru.

Исмаылов Борис Николаевич – начальник курса высшей аттестационной комиссии Академии управления Министерства внутренних дел России. Окончил Самаркандское высшее военное автомобильное командное училище имени Верховного совета Узбекской ССР в 1991 г., Военный университет Министерства обороны Российской Федерации в 2002 г. Область научных интересов – техническое законодательство, менеджмент качества. Т. (391)266-98-66.

Карелин Олег Игоревич – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, заместитель руководителя департамента экономики администрации г. Красноярска. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – управление инновациями и инвестиционной деятельностью. E-mail: k_lego@mail.ru.

Карцан Игорь Николаевич – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела учебного военного центра Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярское высшее командное училище радиоэлектроники в 1999 г. Область научных интересов – навигационные системы, интеллектуализация и обработкf информации в Интернете. E-mail: kartsan@sibsau.ru.

Кауп Вероника Элмаровна – ассистент кафедры бухгалтерского учета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – управленческий учет, контроллинг, бухгалтерский учет. E-mail: nikakaup@mail.ru.

Кислицына Ольга Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики предприятий Новосибирского государственного технического университета. Окончила Новосибирский государственный технический университет в 1993 г. Область научных интересов – инновационная деятельность промышленных предприятий, инновационное развитие промышленности. E-mail: olkis@ngs.ru.

Ковальский Болеслав Иванович – доктор технических наук, профессор Института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1970 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: labsm@mail.ru.

Колташев Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела системного программирования для космических аппаратов ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Новосибирский государственный университет в 1975 г. Область научных интересов – технологии разработки и сопровождения встроенного программного обеспечения систем управления. E-mail: kaa216@npopm.ru.

Коморовский Витольд Станиславович – старший преподаватель кафедры системотехники Сибирского государственного технологического университета. Окончил Сибирский государственный технологический университет в 2006 г. Область научных интересов – моделирование и прогнозирование опасных природных и антропогенных явлений. E-mail: komorovski.w@mail.ru.

Кондратьев Константин Александрович – инженер-программист ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – разработка и сопровождение программного обеспечения, анализ и разработка операционных систем. E-mail: atom_konstantin@mail.ru.

Коноплев Виктор Афанасьевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой налогообложения, предпринимательства и права Кемеровского государственного университета. Окончил Кузбасский политехнический институт в 1967 г. Область научных интересов – инновационное предпринимательство. E-mail: konoplev@kemsu.ru.

Крушенко Генрих Гаврилович – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Омский машиностроительный институт в 1955 г. Область научных интересов – машиностроение, нанотехнологии. E-mail: genry@icm.krasn.ru.

Крылов Алексей Владимирович – аспирант кафедры космических аппаратов и ракет-носителей Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. Окончил Московский государственный

технический университет имени Н. Э. Баумана в 2005 г. Область научных интересов – раскрывающиеся крупногабаритные космические конструкции. E-mail: sm1@sm.bmstu.ru.

Кубриков Максим Викторович – аспирант кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – эксплуатация расчетных двигателей. Т. 8-950-433-91-03.

Кузнецова Вера Альбертовна – кандидат экономических наук, профессор Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Хабаровский политехнический институт в 1972 г. Область научных интересов – экономика и финансы промышленных предприятий. Т. 8(391)291-92-91.

Лаптенок Валерий Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1968 г. Область научных интересов – комплексное решение задач автоматизации электронно-лучевой сварки, процессов аргонадувной сварки, пайки алюминия. Т. 8(391)291-92-44.

Литвиненко Екатерина Николаевна – магистр Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2009 г. Область научных интересов – управление проектами. E-mail: ekaterinanlit@mail.ru.

Литошик Сергей Владимирович – начальник учебного военного центра Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Киевское высшее авиационно-инженерное училище в 1993 г. Область научных интересов – навигационные системы, интеллектуализация и обработка информации в Интернете. Т. 8-923-276-28-24.

Лопатин Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1979 г. Область научных интересов – механика твердого деформируемого тела, механика тонкостенных конструкций. E-mail: lopatin@mail.ru.

Лопатин Павел Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Будапештский технический университет в 1991 г. Область научных интересов – интеллектуальные роботы, моделирование на ЭВМ взаимодействия «человек–человек». E-mail: ivt_plopatin@sibsau.ru.

Лукьянова Анна Александровна – доктор экономических наук, профессор, проректор по учебной работе Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Новосибирский сельскохозяйственный институт в 1983 г. Область научных интересов – региональная экономика, инвестиции. E-mail: lukianovaaa@sibsau.ru; dekanatfef@sibsau.ru.

Лукасов Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Барнаульское высшее военно-авиационное училище летчиков в 1972 г. Область научных интересов – летная и техническая эксплуатация воздушных судов. Т. 8(391)233-00-10.

Максимов Станислав Анатольевич – ведущий экономист ОАО «Красноярский машиностроительный завод». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – экономические науки. E-mail: sa_maksimov@mail.ru.

Медведев Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций, заведующий отделением кибернетики и системного анализа Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук при Сибирском государственном аэрокосмическом университете имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Фрунзенский политехнический институт в 1968 г. Область научных интересов – кибернетика, теория стохастических систем управления. Т. 8(391)290-50-11.

Медведев Алексей Викторович – доктор физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Кемеровского государственного университета. Окончил Кемеровский государственный университет в 1985 г. Область научных интересов – математическая экономика, моделирование динамики крупных экономических систем. E-mail: alexm_62@mail.ru.

Мешковский Виталий Евгеньевич – старший преподаватель кафедры космических аппаратов и ракет-носителей Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. Окончил Московское высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана в 1971 г. Область научных интересов – раскрывающиеся крупногабаритные космические конструкции. E-mail: sm11@sm.bmstu.ru.

Мурыгин Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1980 г. Область научных интересов – автоматизация электронно-лучевой сварки. E-mail: 206393@mail.ru.

Назаров Сергей Владимирович – инженер-технолог отдела главного сварщика ОАО «Красноярский машиностроительный завод», старший преподаватель кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – технологическое качество и надежность сварных конструкций. Т. (391)291-91-95.

Назаров Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации. Окончил Военную академию связи имени С. М. Буденного в

1997 г. Область научных интересов – моделирование и разработка методов реализации ресурсов ретрансляционных узлов в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: art3456@rambler.ru.

Нестеров Владимир Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1987 г. Область научных интересов – механика деформируемого твердого тела, механика тонкостенных конструкций. E-mail: misternester@gmail.com.

Нестерова Наталья Васильевна – заместитель начальника департамента экономики администрации г. Красноярска. Окончила Красноярский государственный университет в 1989 г. Область научных интересов – региональная экономика. E-mail: nest@admkrsk.ru.

Носов Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем радиосвязи Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики в 1968 г. Область научных интересов – оптимизация построения, электромагнитная совместимость и помехоустойчивость систем и сетей радиосвязи. E-mail: nvi@sibsutis.ru.

Оборина Людмила Ивановна – инженер-менеджер фирмы «Союз». Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – менеджмент качества, технологическое обеспечение качества. Т. (391)220-94-56.

Осипян Валерий Осипович – доктор физико-математических наук, доцент кафедры информационных технологий факультета компьютерных технологий и прикладной математики Кубанского государственного университета. Окончил Ереванский государственный педагогический институт имени Хачатура Абовяна в 1972 г. Область научных интересов – теория защиты информации. E-mail: rrwo@mail.ru.

Паламарь Ирина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительных систем Рыбинской государственной авиационной технологической академии имени П. А. Соловьева. Окончила Рыбинский авиационный технологический институт в 1984 г. Область научных интересов – искусственный интеллект, распознавание образов. E-mail: irina.palamar@mail.ru.

Пархоменко Андрей Анатольевич – аспирант кафедры экономической теории и управления Красноярского государственного педагогического университета имени В. П. Астафьева. Окончил Томский государственный университет в 1995 г. Область научных интересов – экономическая теория. E-mail: aap_krs@mail.ru.

Пахирка Андрей Иванович – аспирант кафедры информационно-вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – обработка и распознавание изображений, локализация лиц, система видеонаблюдения. E-mail: pahirka@sibsau.ru.

Петров Михаил Иванович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1970 г. Область научных интересов – кристаллохимия высокотемпературных сверхпроводников, транспортные и магнитные свойства высокотемпературных сверхпроводников. E-mail: smp@iph.krasn.ru.

Пискажова Татьяна Валериевна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1985 г. Область научных интересов – моделирование динамических тепловых процессов, моделирование МГД-процессов в алюминиевых электролизерах, алгоритмы управления алюминиевыми электролизерами, имитационное моделирование процессов. E-mail: piskazhova@narod.ru.

Подколзин Вадим Владиславович – старший преподаватель кафедры информационных технологий факультета компьютерных технологий и прикладной математики Кубанского государственного университета. Окончил Кубанский государственный университет в 2002 г. Область научных интересов – программирование, теория защиты информации. E-mail: vvp_35@mail.ru.

Пономарев Сергей Васильевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 1971 г. Область научных интересов – механика деформируемого твердого тела. E-mail: psvh@psy.tsu.ru.

Попов Алексей Сергеевич – аспирант кафедры топливного обеспечения и горюче-смазочных материалов Института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана в 2005 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: alexey_office@mail.ru.

Поподько Галина Ивановна – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник Красноярского отдела Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Новосибирский государственный университет в 1979 г. Область научных интересов – социально-экономическое развитие территории, уровень жизни, трудовые ресурсы, механизмы инновационного развития страны и региона. E-mail: pgi90@bk.ru.

Пузырева Наталья Валерьевна – студент кафедры бухгалтерского учета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – управленческий учет, контроллинг, бухгалтерский учет. E-mail: natalieval@mail.ru.

Саханский Сергей Павлович – доктор технических наук, доцент кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского государственного политехнического института в 1977 г. Область научных интересов – решение задач автоматизации различных технологических процессов производства. E-mail: sahanskiy@yandex.ru.

Свищев Денис Александрович – аспирант кафедры геодезии и картографии Красноярского государственного аграрного университета, заместитель директора предприятия «Востсиблеспроект». Окончил Красноярский государственный аграрный университет в 2006 г. Область научных интересов – землеустройство, кадастр, геоинформатика, дистанционное зондирование. E-mail: lespres@post.kts.ru.

Семенкин Евгений Станиславович – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, интеллектуальный анализ данных, эволюционные алгоритмы. E-mail: saor_semenkin@sibsau.ru.

Семенов Сергей Сергеевич – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – экономика промышленных предприятий. E-mail: sergey19862@ya.ru.

Седнева Татьяна Александровна – методист финансово-экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – экономические науки. Т. 8(391)291-92-99.

Сизов Павел Вадимович – аспирант кафедры вычислительных систем Рыбинской государственной авиационной технологической академии имени П. А. Соловьева. Окончил Рыбинскую государственную авиационную технологическую академию имени П. А. Соловьева в 2009 г. Область научных интересов – методы машинного зрения, искусственный интеллект, системный анализ. E-mail: p.v.sizov@mail.ru.

Снежко Александра Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1996 г. Область научных интересов – формирование оксидных покрытий алюминиевых сплавов микродуговым оксидированием. E-mail: golenkova.aleksa@mail.ru.

Солоненко Виктор Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 2003 г. Область научных интересов – механика жидкостей и газов, прочность, механика деформируемого твердого тела. Т. 8(3822)78-35-94.

Станишевская Ольга Сергеевна – методист финансово-экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – экономические науки. Т. 8(391)291-92-99.

Степанов Владимир Васильевич – аспирант кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1995 г. Область научных интересов – диагностика металлоизделий. E-mail: vstepanov@iap.ogk6.ru.

Стерехов Игорь Владимирович – инженер-механик ОАО «Хакасэнерго». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1988 г. Область научных интересов – технологическое обеспечение качества.

Суковатенко Сергей Викторович – аспирант кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – преобразователи напряжения, теория управления. E-mail: sergius3000@mail.ru.

Сунцов Сергей Борисович – начальник отдела конструирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники в 1981 г. Область научных интересов – физические процессы, проходящие в бортовой аппаратуре космических аппаратов. E-mail: sbsum@iss-reshetnev.ru.

Сычёва Наталья Валерьевна – аспирант кафедры финансов и налоговой политики Новосибирского государственного технического университета. Окончила Новосибирский государственный технический университет в 2006 г. Область научных интересов – инвестиционная деятельность. E-mail: natsten@mail.ru.

Сыщиков Алексей Юрьевич – научный сотрудник Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения в 2003 г. Область научных интересов – теория и практика параллельных вычислений и параллельного программирования; неоднородные, распределенные, встраиваемые вычислительные системы. E-mail: alexey.syschikov@guap.ru.

Тихоненко Дмитрий Васильевич – старший преподаватель кафедры информационных экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – автоматизация электронно-лучевой сварки. E-mail:tikhonenko_d_v@mail.ru.

Трифанов Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – технология производства летательных аппаратов и технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. Т. 8(391)291-92-14.

Хвалько Александр Александрович – инженер-конструктор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Политехнический институт Сибирского федерального университета в 2007 г. Область научных интересов – математическое моделирование процессов, проходящих в бортовой аппаратуре космических аппаратов. E-mail: aahvalko@mail.ru.

Хожаев Алексей Сергеевич – коммерческий директор ЧОП «Родимичи». Окончил Красноярский государственный педагогический университет в 2003 г. Область научных интересов – теория конкурентоспособности, сфера услуг. E-mail: rod@kraslan.ru.

Хохлова Анна Васильевна – начальник группы сектора программирования ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Новосибирский государственный университет в 1977 г. Область научных интересов – разработка и сопровождение встроенного программного обеспечения систем управления. Т. 8(391)976-44-80.

Храпунова Валерия Владимировна – аспирант кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2000 г. Область научных интересов – разработка высокотемпературных сверхпроводящих наноматериалов для космического применения. E-mail: nirs@sibsau.ru.

Чайран Юлия Александровна – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский институт бизнеса, управления и психологии в 2009 г. Область научных интересов – инвестиции. E-mail: yulyainfo@mail.ru.

Чугуй Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор, директор Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Новосибирский государственный университет в 1968 г. Область научных интересов – физика, оптика, лазеры, системы технического зрения. E-mail: chugui@tdisie.nsc.ru.

Чурилин Сергей Александрович – аспирант кафедры космических аппаратов и ракет-носителей Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. Окончил Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана в 2006 г. Область научных интересов – раскрывающиеся крупногабаритные космические конструкции. E-mail: sm11@sm.bmstu.ru.

Шагарова Анна Александровна – преподаватель кафедры общих профессиональных дисциплин Ульяновского государственного технического университета. Окончила Ульяновскую государственную сельскохозяйственную академию в 2004 г. Область научных интересов – разработка и моделирование алгоритма разнесенного приема в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: nutka82@list.ru.

Шаймарданов Лев Гайнуллович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Куйбышевский авиационный институт в 1966 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей. Т. (391)94-65-29.

Шамлицкий Ярослав Иванович – кандидат технических наук, директор по качеству ОАО «Красноярский завод холодильников „Бирюса“». Окончил Сибирскую государственную аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – системный анализ, управление и обработка информации. E-mail: Yaroslav@biryusa.ru.

Штанюк Лев Анатольевич – магистрант Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил бакалавриат Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики в 2008 г. Область научных интересов – прикладное программирование. E-mail: flameon@front.ru.

Шумаков Николай Николаевич – начальник сектора программирования ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Новосибирский государственный университет в 1978 г. Область научных интересов – проектирование и разработка встроенного программного обеспечения систем управления. Т. 8(391)976-44-80.

Ящук Алексей Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 2002 г. Область научных интересов – математическое моделирование физических процессов. E-mail: bvg@niipmm.tsu.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА 3

Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Процессы 4
Бухтояров В. В., Семенкин Е. С. Комплексный эволюционный подход для автоматического проектирования коллективов нейронных сетей 9
Паламарь И. Н., Сизов П. В. Метод сегментации изображений с применением выращивания областей и многомасштабного анализа 15
Носов В. И., Бактеев В. Н., Штанюк Л. А. Выбор оптимальной точки размещения радиотелевизионной передающей станции 20
Пахирка А. И. Применение метода улучшения изображений для систем распознавания лиц 25
Алгазин Е. И. Технические характеристики инвариантной системы обработки информации при некогерентном приеме и неточном определении порогов 29
Лопатин П. К. Алгоритм захвата манипулятором объекта в неизвестной статической среде 33
Сыщиков А. Ю. Концепция и технология параллельного программирования неоднородных систем на кристалле 37
Карцан И. Н., Жукова Е. С., Литошик С. В. Особенности наведения бортовых лазерных приборов космической радионавигационной системы ГЛОНАСС 43
Коморовский В. С., Доррер Г. А. Методика расчета параметров лесных пожаров как динамических процессов на поверхности земли с использованием данных космического мониторинга 47
Подколзин В. В., Осипян В. О. О свойствах рюкзачных систем защиты информации с открытым ключом в Zp 51
Данилин И. М., Данилин А. И., Свищев Д. А. Лазерная локация и цифровая аэросъемка – подспутниковый компонент в системе информационного обеспечения инвентаризации, мониторинга и кадастра лесных земель 55
Золотарев В. В., Данилова Е. А. О применении факторного анализа в задачах оценки защищенности элементов автоматизированных систем 60
Лопатин А. В., Деев П. О. Определение основной частоты колебаний прямоугольной трехслойной пластины со свободным краем 64
Нестеров В. А. Матрица жесткости конечного элемента пространственной балки с низкой тансверсальной сдвиговой жесткостью 71
Хвалько А. А., Бутов В. Г., Жуков А. П., Сунцов С. Б., Ящук А. А. Комплекс механического анализа бортовой аппаратуры и проблема адекватности конечно-элементных моделей 76
Нестеров В. А., Лопатин А. В. Вывод разрешающих уравнений равновесия пластины с низкой трансверсальной сдвиговой жесткостью 81
Суковатенко С. В., Горяшин Н. Н., Лаптенок В. Д. Математическое моделирование высоковольтного источника ускоряющего напряжения для электронно-лучевой сварки на базе резонансного преобразователя 86
Назаров С. Н., Шагарова А. А. Реализация механизма разнесенного приема в гибридной сети беспроводной передачи информации 91
Храпунова В. В., Гохфельд Ю. С., Петров М. И. Увеличение потенциала пиннинга в сверхпроводниках Y1 xRexBa2Cu3O7–δ 96

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА 101

Бей Н. А., Зимин В. Н., Крылов А. В., Мешковский В. Е., Чурилин С. А. Особенности реализации раскрывающейся бортовой многолучевой антенны 102
Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. О соотношении интегральной, дифференциальной функций вероятностей отказов и вероятности отказа на произвольном отрезке времени в расчетах надежности агрегатов и сложных авиационных систем 105
Лукасов В. В. Прогнозирование развития аварийной ситуации на воздушном судне в полете 108
Журавлев В. Ю., Кубриков М. В. Программное обеспечение для расчета процесса выворачивания разделителей топливных баков 111
Бельков А. В., Величко А. И., Пономарев С. В., Солоненко В. А. Моделирование надувного космического рефлектора 115

Кондратьев К. А., Шумаков Н. Н., Колташев А. А. Алгоритмы диспетчеризации вычислений и их применение в бортовом программном обеспечении спутников связи и навигации 119
Кондратьев К. А., Шумаков Н. Н., Ерохов П. М., Хохлова А. В., Колташев А. А. Основные виды избыточности, применяемые в бортовом программном обеспечении для надежного функционирования спутников связи и навигации 122
Васильев С. И., Попов А. С., Ковальский Б. И. Метод контроля влияния доливов на изменение ресурса моторных масел 123

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ 129

Чугуй Ю. В. Оптические измерительные системы и лазерные технологии для промышленных применений 130
Герюков А. Ш., Богданов В. В., Назаров С. В. Исследования гибридной технологии бесконтактного акустического контроля 135
Оборина Л. И., Исмаылов Б. Н., Стерехов И. В., Трифанов И. В. Технологическое обеспечение качества при изготовлении многоканальных волноводов КВЧ-диапазона 139
Тихоненко Д. В., Мурыгин А. В. Автоматическое устройство наведения на стык при электронно-лучевой сварке 143
Саханский С. П., Баркин С. М. Модель управления температурой при выращивании кремния 149
Пискажова Т. В. Способ оптимального управления химическим составом электролита при получении алюминия 153
Krushenko G. G. Testing of aluminum-silicon alloys mechanical properties on separately casted specimens 158
Stepanov V. V., Krushenko G. G. The assessment of high pressure pipelines of thermal stations state by nondestructive methods 160

РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА 163

Ерыгин Ю. В., Максимов С. А., Седнева Т. А., Станишевская О. С. Роль инструментов контроллинга в управлении инновационным развитием на предприятиях ракетно-космической промышленности 164
Поподько Г. И., Литвиненко Е. Н. Необходимость модернизации машиностроения как условие инновационного развития экономики 167
Владимирова О. Н. Стратификация территорий инновационного развития: теоретические подходы 172
Баженов Г. Е., Кислицына О. А. Инновационный потенциал – основа устойчивого экономического развития предприятия 176
Антамошкин А. Н., Балобан Т. Е. Специфика оценки рисков инноваций на предприятиях оборонно-промышленного комплекса 181
Жирнова Е. А., Шамлицкий Я. И., Снежко А. А. Оценка результативности системы менеджмента качества на предприятии машиностроительной отрасли 183
Чайран Ю. А., Лукьянова А. А. Формирование инвестиционной привлекательности предприятий 187
Ерыгин Ю. В., Джежора А. А. Концепция системы сбалансированных показателей в системе управления инновациями на предприятиях оборонно-промышленного комплекса 192
Воейкова О. Б. Интеграция высшей школы и промышленности в регионе как фактор его инновационного развития 197
Коноплев В. А., Медведев А. В. Экономико-математическая модель трансграничных социально-экономических взаимодействий 201
Кузнецова В. А., Семенов С. С. Сущность и направления экономической политики предприятий 204
Сычева Н. В. Оценка эффективности инвестиционной деятельности с учетом способа финансирования 209
Кауп В. Э., Пузырева Н. В., Воркулева А. В. Организация управленческого учета на предприятиях ракетно-космической промышленности 215
Данильченко Ю. В., Хожаев А. С. Управление отношениями с потребителями как ключевой фактор обеспечения конкурентоспособности предприятия деловых услуг 220
Пархоменко А. А. Необходимость и проблемы модернизации российского финансового сектора 224
Карелин О. И., Нестерова Н. В. Теневая деятельность малых предприятий 229

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 232

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS 3

Medvedev A. V. Theory of non-parametric systems. processes 4
Bukhtoyarov V. V., Semenkin E. S. Integrated evolutionary approach for neural network ensembles automatic design 9
Palamar I. N., Sizov P. V. Methods of image segmentation with the help of areas growing and multiscale analisys 15
Nosov V. I., Bakteev V. N., Shtanyuk L. A. Optimization of operating range for a radio television broadcasting station 20
Pakhirka A. I. Image enhancement for face recognition system 25
Algasin E. I. Invariant system of information processing under noncoherent reception and inaccurate determination of the thresholdspecifications 29
Lopatin P. K. Algorithm for an object grasping by a manipulator in an unknown static environment 33
Syschikov A. Yu. Consept and technology of parallel programming for heterogeneous system on chip 37
Kartsan I. N., Zhukova E. S., Litoshik S. V. Characteristic features of targeting via aurborne laser space radio navigation devices of GLONASS system 43
Komorovski V. S., Dorrer G. A. Method of calculation of parameters of forest fires, as dynamic processes in the earth surface based on space monitoring data 47
Podkolzin V. V., Osipyan V. O. About properties of knapsack systems of information protection with the public key in Zp 51
Danilin I. M., Danilin A. I., Svischev D. I. Laser location and digital aerial survey – subsatellite component in the system of information securing inventory, monitoring and cadastre of forest lands 55
Zolotarev V. V., Danilova E. A. About application of the factorial analysis in problems of the automated systems elements security estimation 60
Lopatin A. V., Deev P. O. Determination of the fundamental frequency for rectangular sandwich plate with free edge 64
Nesterov V. A. Stiffness matrix of the tridimentional beam finite element with low transverse shear stiffness 71
Hvalko A. A., Butov V. G., Zhukov A. P., Suntsov S. B., Yaschuk A. A. Complex ofmechanical analysis of the onboard equipment and adequacy of finite-element model problem 76
Nesterov V. A., Lopatin A. V. Derivation of resulting equations of balance of a plate with low transverse shear stiffness 81
Sukovatenko S. V., Goryashin N. N., Laptenok V. D. Mathematical modeling of high-voltage accelerating power supply for electron-beam welding based on parallel resonant converter with zero voltage switching 86
Nazarov S. N., Shagarova A. A. Realization of mechanism of diversity reception in hybrid network of wireless information transmission 91
Khrapunova V. V., Gokhfeld Yu. S., Petrov M. I. Pinning enhancement in Y1-xRExBa2Cu3O7-δ superconductors 96

PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING 101

Bey N. A., Zimin V. N., Krylov A. V., Meshkovsky V. E., Churilin S. A. Implementation features of deployable multibeam aerospace antenna 102
Boyko O. G., Shaimardanov L. G. The paper is about integral, differential breakdown probabilities function breakdown probability at a random time piece correlation in complicated systems and aggregates calculation 105
Lukasov V. V. Prognostication of development of emergency situation on an air ship on wing 108
Zhuravlev V. Yu., Kubrikov M. V. The software on realisation of mathematical model of process reversing of separators of fuel tanks 111
Belkov A. V., Ponomarev S. V., Velichko A. I., Solonenko V. A. Modelling of the inflatable space reflector 115
Kondratev C. A., Shumakov N. N., Koltashev A. A. Computing algorithms dispatching and use in navigation and communication satellites on-board software 119
Kondratev C. A., Shumakov N. N., Erohov P. M., Hohlova A. V., Koltashev A. A. The main types of redundancy that are used for design of navigation and communication satellites reliable operation software 122
Vasiljev S. I., Popov A. S., Kovalskiy B. I. Method of control of topping-up effects influence on change of motor oils resource 123

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS 129

Chugui Yu. V. Optical measuring systems and laser technologies for industrial applications 130
Gerukov A. Sh., Bogdanov V. V., Nazarov S. V. Researches of hybrid technology of the noncontacting acoustic control 135
Oborina L. I., Ismaylov B. N., Sterehov I. V., Trifanov I. V. Technological maintenance of quality in manufacture of multichannel wave guides of EHF-range 139
Tikhonenko D. V., Murygin A. V. Automatic system of induction on joint for electron beam welding 143
Sakhanski S. P., Barkin S. M. Model of temperature assignment of silicon growing 149
Piskazhova T. V. Method of optimum control of electrolyte chemical composition at aluminum production 153
Крушенко Г. Г. Испытание механических свойств алюминиево-кремниевых сплавов на отдельно отлитых образцах 158
Степанов В. В., Крушенко Г. Г. Оценка состояния трубопроводов высокого давления тепловых электростанций неразрушающими методами 160

PART 4. ECONOMICS 163

Erygin Yu. V., Maksimov S. A., Sedneva T. A., Stanishevskaya O. S. Controlling tools value for innovative development management at rocket-and-space industry enterprises 164
Popodko G. I., Litvinenko E. N. The need for engineering modernization as a condition for innovative development of economy 167
Vladimirova O. N. Stratification of innovative development territories: theoretical approaches 172
Bazhenov G. E., Kislitsyna O. A. Innovation capacity – the basis of sustainable economic development of an enterprise 176
Antamoshkin A. N., Baloban T. E. Specific character of innovations risks estimation on enterprises of defense industry complex 181
Zhirnova E. A., Shamlitskiy Ya. I., Snezhko A. A. Evaluation of quality management system effectiveness at machine-building branch enterprise 183
Chayran Yu. A., Lukianova A. A. Formation of investment appeal of enterprises 187
Erygin Yu. V., Dzhezhora A. A. BSC concept in innovations management system for defense-industrial complex enterprises 192
Voeykova O. B. Integration between higher school and industry in region as the factor of innovative development of the region 197
Konoplev V. A., Medvedev A. V. Economic and mathematical model of transborder socioeconomic interactions 201
Kuznetsova V. A., Semenov S. S. Theoretical basis of economic policy: nature, trends 204
Sytcheva N. V. Evaluating the efficiency of investment activity taking into account the scheme of financing 209
Kaup V. E., Puzyreva N. V., Vorkuleva A. V. Organization of administrative account at rkp enterprises 215
Danilchenko Yu. V., Khozhaev A. S. Customer relationships management as the key factor for provision of business services company competitive ability 220
Parkhomenko A. A. Necessity and problems of the russian financial sector modernization 224
Karelin O. I., Nesterova N. V. Shadow activity of small enterprises 229

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS 232

Приложение № 2
к Положению № 63/74 от 15.03.06
о журнале «Вестник СибГАУ»

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СИБГАУ»

Общие требования. Тексты статей представляются в редакцию журнала в электронном и печатном виде на русском и английском языках. Русскоязычная версия должна сопровождаться английским переводом фамилии автора (авторов); названия статьи; аннотации; ключевых слов (см. пример оформления статьи).

Файл со статьей представляется на любом электронном носителе.

На последней странице ставится подпись автора (авторов) статьи. Количество авторов одной статьи – не более пяти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй раз – в соавторстве.

Индекс УДК предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

Оригинал должен быть чистым, не помятым, без правок, вписанных от руки. Страницы нумеруются карандашом на обороте.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Word.

Содержание. В статье необходимо сформулировать проблемы, отразить объект исследования, достигнутый уровень процесса исследования, новизну результатов, область их применения.

Статья должна заканчиваться выводом. Текст вывода набирается отдельным абзацем (абзацами), в котором акцентируется новизна результатов, эффективность их использования и др.

Объем статьи: 7–8 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографические ссылки).

Параметры страницы. Формат А4 (210×297 мм). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

По центру помещаются инициалы и фамилия автора (авторов).

Не допускается (!) в тексте статьи набирать слова прописными (заглавными) буквами, жирным шрифтом или курсивом, а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформление набора, выполняемого в журнале.

Ниже по центру шрифтом 12 пт печатается название статьи и через строку курсивом – аннотация, ключевые слова (не более 6).

Основной текст статьи размещается через пробел от аннотации. Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается. Заголовки глав должны быть центрированы.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Ссылки на литературные или иные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки, например [1]. Ссылки должны быть последовательно пронумерованы.

При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Примечания. Смысловые пояснения основного текста или дополнения к нему оформляются в виде внутритекстовых примечаний среди строк основного текста специальной рубрикой, выделенной светлым курсивом: *Примечание.* (одно примечание), *Примечания*: (несколько примечаний). Отделяются от текста *точкой* (если стоят в единственном числе в подбор к тексту примечания). Примечания должны быть последовательно пронумерованы.

Формулы. Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов – символами (шрифт Symbol). Специальные сложные символы, а также многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным образом, должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Набор математических формул в пределах всего текста должен быть единообразен:

– русские и греческие символы – прямым шрифтом;
– латинские – курсивом;
– размер обычного символа – 12 пт;
– крупный индекс – 10 пт;
– мелкий индекс – 9 пт;
– крупный символ – 11 пт;
– мелкий символ – 10 пт.

Формулы, набранные отдельными строками, располагают по центру.

Не допускается (!) набор в основном тексте статьи простых латинских, греческих или специальных символов в редакторе формул.

Таблицы должны быть последовательно пронумерованы. Слово «таблица» набирается светлым курсивом с выравниванием вправо, шрифтом 11 пт, например *Таблица 1*, ниже – заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, то она может быть помещена на отдельной странице, а в случае, когда она имеет значительную ширину, – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации. Оформляются отдельным файлом с расширением tiff. Последовательно пронумеровываются обычным шрифтом без кавычек с выравниванием по центру, например, Рис. 1. Могут содержать подрисуночную подпись, шрифтом 11 пт. Иллюстрации могут быть сканированы с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Не принимаются цветные иллюстрации и иллюстрации с разрешением 300 dpi и более.

Библиографические ссылки составляются в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещаются после основного текста (ГОСТ 7.0.5–2008).

К печатному варианту статьи необходимо приложить:

1) экспертное заключение о возможности открытой публикации;

2) внешнюю рецензию (рецензент, желательно, не ниже ученой степени доктора наук);

3) сведения об авторе:

– фамилия, имя, отчество (полностью);

– ученая степень, звание, должность;

– вуз, год его окончания;

– область научных интересов;

– место работы, номер телефона;

– адрес для переписки (для иногородних);

– e-mail.

Внимание! Материалы статьи авторы сдают лично секретарю журнала или высылают почтой с указанием обратного адреса. По электронной почте статьи не принимаются.

Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 621.396.96.001(07)

И. А. Иванов

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ДВУХКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассмотрена децентрализованная обработка информации в двухканальных измерительных системах при косвенном измерении для различных алгоритмов фильтрации оценки вектора состояния в измерительных пунктах и пункте обработки информации. Проведен сравнительный анализ результатов имитационного моделирования синтезированных алгоритмов.

Ключевые слова (не более 6):

Задача обеспечения высокой точности оценивания координат и параметров траектории движения объекта может быть решена за счет применения многоканальных измерительных систем с оптимальной централизованной обработкой.

(Продолжение текста публикуемого материала).

---

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00-01-00912).

Библиографические ссылки

1. Гришин Б. П., Казаринов Ю. М. Динамические системы, устойчивые к отказам. М. : Радио и связь, 1985.

2. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. Вып. 1. Красноярск, 2000. С. 173–191.

I. A. Ivanov

DECENTRALIZED ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING IN TWO-CHANNEL MEASURE SYSTEMS

It is covered a decentralized algorithms of information processing in two-channel measure systems in case of an indirect measuring for different filtration algorithms of a condition vector estimation at the reception measure station and the station of information processing. Comparative analysis is carried out with a help of imitation modeling of synthesized algorithms.

Keywords: