ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 2 (28)

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, Е. Г. Некрасова, О. А. Плехова, А. И. Эберле
Редактор английского текста Е. А. Гончаров
Компьютерная верстка М. А. Белоусовой
Подп. в печать 15.06.2010. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 27,2.
Уч.-изд. л. 36,5. Тираж 1000 экз. С 91/10.
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 536.21

Е. Н. Васильев, В. В. Деревянко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В СОТОВОЙ ПАНЕЛИ С ТЕПЛОВЫМИ ТРУБАМИ

Проведен анализ процессов теплообмена в сотовой панели и представлена нестационарная математическая модель для расчета температурных полей. Приведены некоторые результаты моделирования температурных режимов теплонагруженных сотопанелей.

Ключевые слова: сотовая панель, теплообмен, математическое моделирование.

В настоящее время в конструкции космических аппаратов (КА) все более широкое применение находят сотовые панели (СП), которые характеризуются высокой механической прочностью и очень малой плотностью. Сотовые панели используются как элементы конструкции КА: на них размещаются блоки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), агрегаты и тепловые трубы (ТТ).

Для нормального функционирования РЭА необходимо поддерживать температурный режим, соответствующий техническим условиям эксплуатации. Однако малая объемная плотность конструкции СП определяет ее низкие теплопередающие свойства, что затрудняет эффективный отвод теплоты от блоков РЭА и обеспечение оптимальных тепловых режимов, а неоднородная структура СП усложняет расчет процессов теплообмена и анализ тепловых режимов РЭА.

При расчете тепловых режимов КА применяются различные математические модели. Наиболее распространенным подходом к описанию процессов теплообмена в КА является использование уравнения теплового баланса. Нестационарные тепловые математические модели, разработанные в рамках этого подхода, рассматриваются в монографии [1]. В работе [2] приведена математическая модель для расчета теплового режима прибора, расположенного на сотовой панели. В данной статье представлена математическая модель теплообмена в сотовой панели с тепловыми трубами, основанная на численном решении нестационарных уравнений теплопроводности с помощью конечно-разностной схемы расщепления по пространственным координатам. Высокая вычислительная эффективность метода конечных разностей позволяет повысить уровень детализации при расчете температурных полей. Представленная ниже математическая модель предназначена для расчета нестационарных тепловых режимов РЭА, оптимизации компоновки и параметров СП, количества и расположения ТТ.

Анализ процессов теплообмена. Сотовая панель состоит из двух параллельных пластин (обшивок *1* и *2*), пространство между которыми заполнено сотами *3* из металлической фольги (сотонаполнителем) (рис. 1). Вследствие малой объемной плотности сотопанели присуща низкая теплопередающая способность, поэтому для улучшения теплопередачи используют тепловые трубы, в которых высокая эффективная теплопроводность обеспечивается за счет циркуляции и фазовых превращений теплоносителя во внутреннем канале *4*. Тепловые трубы расположены внутри СП и крепятся к обшивке с помощью посадочной площадки *5*.

Теплообмен в сотовой панели существенно отличается от теплопередачи в сплошной металлической панели: во-первых, теплообмен в сотовой панели из-за наличия сотонаполнителя и ТТ является явлением существенно трехмерным и анизотропным; во-вторых, теплопередача в сотовой панели может осуществляться как за счет механизма теплопроводности, так и посредством излучения.

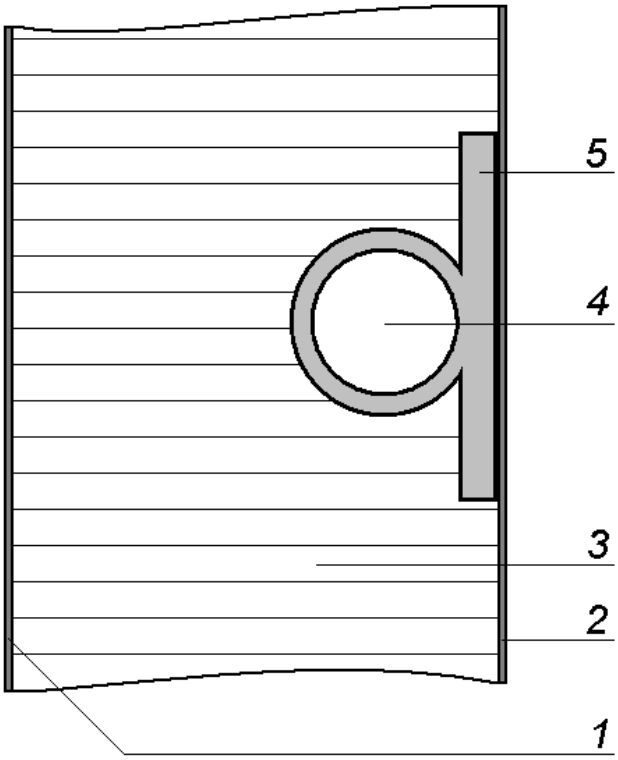


Рис. 1. Фрагмент сотопанели с тепловой трубой (обозначения см. в тексте)

Для определения особенностей процесса оценим влияние механизмов теплообмена в объеме сотопанели. Как правило, плотность сотонаполнителя примерно в 100 раз меньше плотности материала, из которого он изготовлен. Следовательно, эффективное значение коэффициента теплопроводности λ^* в поперечном направлении («обшивка *1*–обшивка *2*») будет составлять 0,01 от коэффициента теплопроводности сплошного материала. При величине теплового потока 400 Вт/м^2 и толщине сотонаполнителя d = 0,03 м перепад температуры составит $\Delta T = qd/\lambda^* \approx 8$ К. Плотность лучистого потока между обшивками *1* и *2* оценим по формуле $q_R = \varepsilon\sigma_{SB}(T_1^4 - T_2^4)$,

где σ_{SB} – постоянная Стефана–Больцмана. При значениях $\varepsilon = 0{,}2$, $T_1 = 308$ К и $T_2 = 300$ К величина $q_R \approx 1$ Вт/м^2, что пренебрежимо мало по сравнению с рассматриваемой величиной теплового потока, переносимого теплопроводностью.

Малая толщина обшивок и низкая плотность сотонаполнителя обусловливает низкую теплопроводность сотонаполнителя и в продольных направлениях. В этом случае эффективный коэффициент теплопроводности будет примерно в 5–10 раз ниже, чем в обшивках, поэтому при проведении приближенных расчетов теплопередачей в продольных направлениях можно пренебречь. При более точных расчетах продольную теплопроводность сотонаполнителя следует учитывать в виде добавки к теплопроводности обшивок, причем в общем случае эта добавка к коэффициенту теплопроводности из-за анизотропии сотонаполнителя зависит от направления. Сотонаполнитель имеет размеры пор порядка нескольких миллиметров, поэтому в представленной модели он рассматривается как сплошная среда, имеющая термическое сопротивление, определяемое параметрами сотонаполнителя.

Полученные оценки свидетельствуют о том, что в сотовых панелях теплопередача в продольных направлениях осуществляется в основном за счет теплопроводности обшивок, в поперечном направлении (между обшивками) – за счет теплопроводности материала сотонаполнителя. Сотовая панель в данном случае будем рассматривать как две плоские сплошные пластины, обменивающиеся между собой тепловой энергией через термическое сопротивление сотонаполнителя. При этом излучение учитывается только на внешней поверхности сотопанели при теплообмене с внешней средой.

Математическая постановка задачи и алгоритм численного решения. Для определения температурного режима сотовой панели математическая модель записывается в виде двух двумерных нестационарных уравнений с переменными коэффициентами, которые описывают распространение теплоты в обеих обшивках

$$c_m(x,y)\frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda(x,y)\frac{\partial T_i}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda(x,y)\frac{\partial T_i}{\partial y}\right] + q_v(x,y,t) - \alpha_v(x,y,t)T_i, \qquad (1)$$

где c_m – удельная объемная теплоемкость материала; T_i – температура; $i = 1, 2$ – индекс, соответствующий номеру обшивки; λ – коэффициент теплопроводности; t – время; x, y – пространственные координаты; q_v – объемная мощность источников и стоков теплоты; α_v – коэффициент теплообмена с внешней средой.

Уравнения (1) дополнены граничными условиями следующего вида:

$$\left[\lambda\frac{\partial T_i}{\partial l} + \alpha T_i\right]_{l=0,L} = q\big|_{l=0,L},\ l = x, y,$$

и начальным условием $T_i\big|_{t=0} = T_{i0}(x,y)$.

Величина теплового потока, перетекающего через сотонаполнитель с одной обшивки на другую, определяется выражением

$$q(x,y) = \frac{T_1(x,y) - T_2(x,y)}{R}, \qquad (2)$$

где T_1 и T_2 – температуры обшивок *1* и *2* соответственно; R – удельное термическое сопротивление сотонаполнителя. Условие (2), описывающее теплообмен между обшивками, учитывается в уравнениях (1) с помощью двух последних слагаемых. Так, например, при расчете температурного поля первой обшивки в слагаемом объемного тепловыделения задается добавка $q_v(x,y) = T_2(x,y)/Rd_1$, а в коэффициент теплообмена – добавка $\alpha_v(x,y) = 1/Rd_1$, где d_1 – толщина первой обшивки. Для второй обшивки используется аналогичное описание. Такой алгоритм расчета теплообмена между обшивками СП обеспечивает устойчивость вычислительного алгоритма. Кроме того, в слагаемое q_v входят тепловой поток от РЭА, внешние тепловые потоки и излучение с поверхности обшивок.

Тепловые трубы на обшивках СП в математической модели учитываются как зоны высокой однонаправленной теплопроводности, причем значение коэффициента теплопроводности, отвечающее за теплопередающую способность ТТ, задается для осевого направления. Теплопроводность посадочной площадки ТТ также должна учитываться, поскольку она может оказывать заметное влияние на теплопередачу в поперечном направлении.

При выборе численного метода решения задачи одними из самых важных критериев являются экономичность и устойчивость алгоритма. Кроме того, специфика задачи требует, чтобы вычислительный алгоритм позволял оперировать с однонаправленными компонентами коэффициента теплопроводности λ_x и λ_y, обусловленными анизотропией теплопроводности из-за наличия тепловых труб. Данным требованиям удовлетворяет метод суммарной аппроксимации [3], в котором используется расщепление задачи по пространственным координатам. При этом процесс решения нестационарной двумерной задачи на каждом временном шаге разбивается на два этапа, на каждом из которых решается локально-одномерная задача с помощью неявной разностной схемы.

При численном решении вводится сеточная функция $T^j_{n,m}$, соответствующая значениям температуры в узлах разностной координатной сетки при

$$x_n = (n-1)h_x,\ y_m = (m-1)h_y,\ t_j = (j-1)\tau$$

и промежуточная функция $U^j_{n,m}$.

На первом этапе решаются локально-одномерные задачи с компонентой коэффициента теплопроводности λ_x в направлении x для всех y_m и определяются значения промежуточной функции $U^j_{n,m}$

– для $n = 1$

$$U^j_{2,m} - \left(1 + \frac{\alpha_{0,x}h_x}{\lambda_{3/2,m}} + \frac{(c_v\rho)_{1,m}h_x^2}{2\lambda_{3/2,m}\tau} + \frac{\alpha_{V1,m}h_x^2}{4\lambda_{3/2,m}}\right)U^j_{1,m} + \frac{q_{0,x}h_x}{\lambda_{3/2,m}} + \frac{h_x^2}{2\lambda_{3/2,m}}\left(\frac{q_{V1,m}}{2} + \frac{(c_v\rho)_{1,m}}{\tau}T^{j-1}_{1,m}\right) = 0; \qquad (3)$$

– для $n = 2, \ldots, N-1$

$$U^j_{n+1,m} - \left(1 + \frac{\lambda_{n-1/2,m}}{\lambda_{n+1/2,m}} + \frac{(c_v\rho)_{n,m}h_x^2}{\lambda_{n+1/2,m}\tau} + \frac{\alpha_{Vn,m}h_x^2}{2\lambda_{n+1/2,m}}\right)U^j_{n,m} + \frac{\lambda_{n-1/2,m}}{\lambda_{n+1/2,m}}U^j_{n-1,m} + \frac{h_x^2}{\lambda_{n+1/2,m}}\left(\frac{q_{V1n,m}}{2} + \frac{(c_v\rho)_{n,m}}{\tau}T^{j-1}_{n,m}\right) = 0; \qquad (4)$$

– для $n = N$

$$-\left(1+\frac{\alpha_{0,x}h_x}{\lambda_{N-1/2,m}}+\frac{(c_v\rho)_{N,m}h_x^2}{2\lambda_{N-1/2,m}\tau}+\frac{\alpha_{VN,m}h_x^2}{4\lambda_{N-1/2,m}}\right)U_{N,m}^j+U_{N-1,m}^j+$$

$$\frac{q_{L,x}h_x}{\lambda_{N-1/2,m}}+\frac{h_x^2}{2\lambda_{N-1/2,m}}\left(\frac{q_{VN,m}}{2}+\frac{(c_v\rho)_{N,m}}{\tau}T_{N,m}^{j-1}\right)=0\,. \quad (5)$$

На втором этапе решаются аналогичные локально-одномерные задачи с компонентой коэффициента теплопроводности λ_y в направлении y для всех xn и определяются значения сеточной функции $T_{n,m}^{j+1}$ на следующем временном шаге.

Алгебраические уравнения (3)–(5) решаются с помощью метода прогонки. Входными параметрами программы являются геометрические характеристики сотопанели, теплофизические свойства материалов и параметры тепловыделения блоков.

Результаты расчетов. Выбор величины разностных шагов является важным моментом при проведении вычислений. Для получения адекватных расчетных результатов, исключающих существенное сглаживание температурных градиентов, величина шага не должна превышать характерного масштаба неоднородностей температурного поля. В данной задаче масштаб неоднородностей зависит от тепловых труб, поэтому поперечный размер ТТ, равный примерно 10 мм, определяет значение для разностных шагов по пространственным координатам $h_x = h_y = 10$ мм.

Особенности теплообмена в сотовой панели сначала исследуются на основе решения модельной задачи, в которой СП имеет следующие параметры: поперечные размеры СП 600 × 300 мм^2, толщина обшивок 0,4 мм, расстояние между обшивками 30 мм, удельное тепловое сопротивление сотозаполнителя $R = 10$ м/Вт. Вся внешняя обшивка панели является радиационной поверхностью, с которой испускается тепловой поток, соответствующий излучению в открытое космическое пространство с коэффициентом черноты поверхности $\varepsilon = 0{,}7$. На левой половине внутренней обшивки панели расположен прибор с размерами посадочного места 300 × 300 мм^2, мощность его тепловыделения 50 Вт, причем полагается, что тепловой поток от прибора распределен равномерно по всей площади посадочного места. Для улучшения теплопередачи на СП установлены две ТТ.

Моделирование проводилось для длительности процесса, соответствующей выходу на стационарный температурный режим. Результаты расчета, приведенные на рис. 2 и 3, где изолиниями и оттенками серого цвета изображены температурные поля внутренней и внешней обшивок СП, а температурный интервал между изолиниями равен 1 °С, показали, что на внутренней обшивке велика неоднородность распределения температуры (ее максимальный перепад составляет примерно 26 °С), связанная с низкой теплопередающей способностью обшивки в направлении, перпендикулярном ТТ. На внешней обшивке СП температурное поле является более сглаженным (здесь максимальный перепад температуры равен примерно 20 °С).

При значительной неоднородности распределений температуры гарантированно контролировать оптимальный температурный режим РЭА достаточно сложно, поэтому для выравнивания теплового поля на обшивке СП дополнительно размещают термостабилизирующие пластины (ТСП), выполненные из металла с высоким коэффициентом теплопроводности. Причем температурные перепады уменьшаются пропорционально увеличению толщины ТСП. Например, использование алюминиевой пластины толщиной 6 мм позволяет уменьшить перепад температур до величины ≈ 2 °С. Однако увеличение толщины ТСП приводит к значительному росту веса конструкции. В перспективе для повышения теплопередающей способности вместо ТСП и ТТ можно рекомендовать гипертеплопроводящие пластины (ГТП). Расчет теплового режима СП с ГТП с толщиной 2 мм и значением эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{эфф} = 5\,000$ Вт/(м · К) дает практически однородное тепловое поле на внутренней обшивке (температурный перепад не превышает 0,5 °С), поскольку высокая теплопередающая способность ГТП эффективно сглаживает действие теплоты, поступающей от приборов и внешних тепловых потоков на радиационную поверхность.

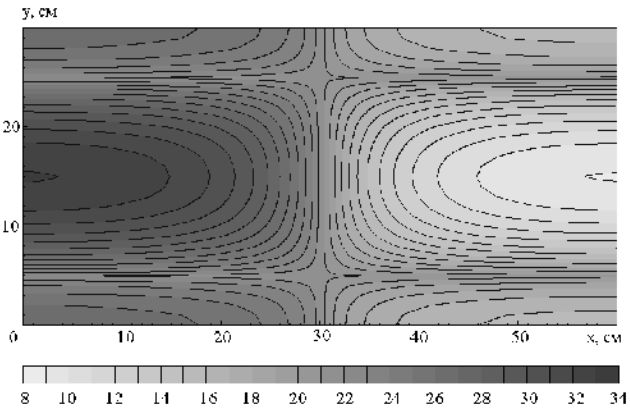


Рис. 2. Температурное поле внутренней поверхности СП (обозначения см. в тексте)

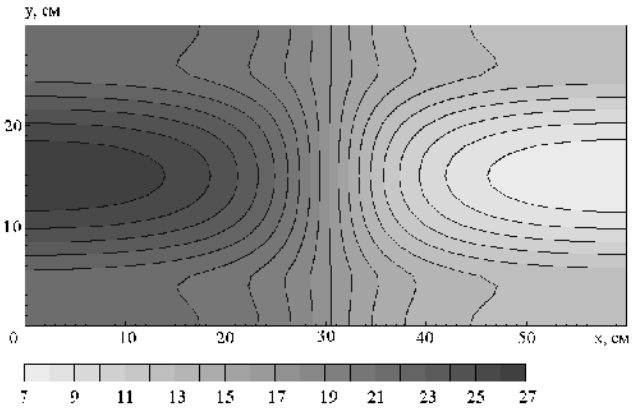


Рис. 3. Температурное поле внешней поверхности СП (обозначения см. в тексте)

В реальных конструкциях на сотопанели может размещаться достаточно большое количество тепловыделяющих приборов и ТТ. Пример расчета температурных полей приведен на рис. 4, где показано распределение температуры на внутренней обшивке СП (границы посадочных мест приборов отмечены белым контуром). Температурное поле имеет неоднородную структуру и явля-

ется результатом совместного действия различных механизмов: тепловыделения приборов, теплопередачи по обшивкам и ТТ, теплообмена между обшивками СП и излучения с внешней обшивки.

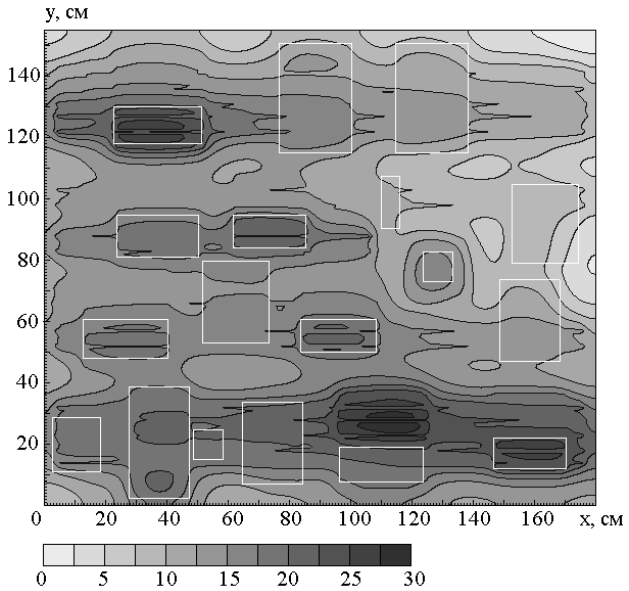


Рис. 4. Температурное поле внутренней поверхности теплонагруженной СП (обозначения см. в тексте)

Таким образом, использование математических моделей, по нашему мнению, наиболее актуально для расчета сложных конструкций СП, поскольку проведение вычислительных экспериментов позволяет получить полную и детальную информацию о тепловом режиме для различных внешних условий. Следует также отметить, что для проведения расчетов тепловых режимов СП сложной конструкции необходим ввод значительного объема информации – как теплофизических характеристик, так и геометрических параметров конструкции (размеры, координаты посадочных мест приборов), масс и т. д., что может потребовать больших затрат времени. Ввод данных может быть существенно облегчен за счет непосредственного считывания информации из базы данных системы автоматизированного проектирования. Для реализации этого подхода на основе представленной математической модели разрабатывается программный комплекс для расчета тепловых режимов, который позволит существенно упростить процедуры ввода, редактирования, вывода и визуализации входных и расчетных данных.

Разработанная математическая модель позволяет проводить расчеты температурных полей обшивок сотовой панели с учетом детальной информации о конструкции сотопанели, мощностях тепловыделения РЭА и внешних тепловых условиях с целью обеспечения требуемых тепловых режимов функционирования РЭА.

Библиографические ссылки

1. Нестационарные тепловые режимы космических аппаратов спутниковых систем : монография / М. В. Краев, О. В.Загар, В. М. Краев, К. Ф. Голиковская ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

2. Алексеев Н. Г., Загар О. В., Касьянов А. О. Система обеспечения теплового режима прибора с регулированием температуры в узком диапазоне // Решетневские чтения : материалы XI Междунар. науч. конф. Красноярск, 2007. С. 213.

3. Самарский А. А. Теория разностных схем. М. : Наука, 1989.

E. N. Vasilyev, V. V. Derevyanko

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN THE HONEYCOMB PANEL WITH HEAT PIPES

This article offers results of analysis of heat exchange processes in the honeycomb panel and presents a nonstationary model for calculation of temperature patterns. Some results of temperature modes modeling of intensive heat loaded honeycomb panels are given.

Keywords: honeycomb panel, heat exchange, mathematical modeling.

© Васильев Е. Н., Деревянко В. В., 2010

УДК 519.872

А. Е. Горбатенко, А. А. Назаров

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУМАРКОВСКОГО ПОТОКА В УСЛОВИИ ПРЕДЕЛЬНО РЕДКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЕГО СОСТОЯНИЙ*

Рассмотрен полумарковский поток (SM-поток) в условии предельно редких изменений его состояний. В предлагаемом асимптотическом условии найдено распределение вероятностей числа событий, наступивших в SM-потоке за время t. Показано, что это распределение может быть многомодальным.

Ключевые слова: SM-поток, состояния потока, предельно редкие изменения состояний потока, метод дополнительной переменной, метод асимптотического анализа.

В данной статье рассматривается полумарковский поток (SM-поток, Semi-Markovian process), который является наиболее общей моделью потоков однородных событий [1].

Дадим определение полумарковского потока, для чего рассмотрим двумерный однородный марковский случайный процесс $\{\xi(n), \tau(n)\}$ с дискретным временем. Здесь $\xi(n)$ – эргодическая цепь Маркова с дискретным временем и матрицей $P = [p_{\nu k}]$ вероятностей перехода за один шаг [2]; процесс $\tau(n)$ принимает неотрицательные значения из непрерывного множества.

Далее определим марковскую переходную функцию $F(\nu, x, k, y)$ для процесса $\{\xi(n), \tau(n)\}$:

$$F(k,x;\nu,y) = P\{\xi(n+1)=k, \tau(n+1)<x \mid \xi(n)=\nu, \tau(n)=y\}.$$

Будем рассматривать такие двумерные процессы $\{\xi(n), \tau(n)\}$, для которых выполняется следующее равенство:

$$F(\nu,x;k,y) = F(\nu,x;k),$$

т. е. $F(\nu, x, k, y)$ не зависит от значений y процесса $\tau(n)$.

Обозначим

$$F(k,x;\nu) = A_{\nu k}(x) = P\{\xi(n+1)=k, \tau(n+1)<x \mid \xi(n)=\nu\}. \quad (1)$$

Матрицу $A(x)$ с элементами $A_{\nu k}(x)$ будем называть полумарковской.

Случайный поток однородных событий

$$t_1 < t_2 < \ldots < t_n < t_{n+1} < \ldots$$

будем называть полумарковским потоком, или SM-потоком, заданным матрицей $A(x)$, если для моментов t_n наступления его событий выполняется следующее равенство:

$$t_{n+1} = t_n + \tau(n+1).$$

В силу (1) матрица переходных вероятностей цепи Маркова $\xi(n)$ определяется равенством

$$P = A(\infty).$$

Эту цепь для полумарковского потока назовем вложенной цепью Маркова.

Для элементов полумарковской матрицы в общем случае имеет место мультипликативная форма, которую можно записать в виде

$$A_{\nu k}(x) = P\{\xi(n+1)=k, \tau(n+1)<x \mid \xi(n)=\nu\} =$$

$$= P\{\tau(n+1)<x, \mid \xi(n)=\nu, \xi(n+1)=k\} \times$$

$$\times P\{\xi(n+1)=k, \mid \xi(n)=\nu\} = G_{\nu k}(x)\, p_{\nu k},$$

где $G_{\nu k}(x)$ – условная функция распределения длины интервала полумарковского потока при условии, что в начале этого интервала вложенная цепь Маркова приняла значение ν, а в его конце примет значение k. В силу равенства

$$A_{\nu k}(x) = G_{\nu k}(x)\, p_{\nu k} \quad (2)$$

матрицу $A(x)$ можно записать в виде произведения Адамара

$$A(x) = G(x) \cdot P \quad (3)$$

двух матриц $G(x)$ и P, и можно полагать, что полумарковский поток задан двумя матрицами $G(x)$ и P.

Состоянием полумарковского потока в момент времени $t_n < t \le t_{n+1}$ назовем состояние k его вложенной цепи Маркова, принятое в начале интервала (t_n, t_{n+1}).

Исследование полумарковского потока будем проводить в условии предельно редких изменений состояний (ПРИС) потока, при котором переход из одного состояния вложенной цепи Маркова в другое осуществляется крайне редко

Условие предельно редких изменений состояний полумарковского потока формализуется следующим равенством для матрицы $P(\delta)$ вероятностей переходов его вложенной цепи Маркова:

$$P(\delta) = I + \delta \cdot Q, \quad (4)$$

где δ – некоторый малый параметр ($\delta \to 0$); I – единичная диагональная матрица.

Матрица Q с элементами $q_{\nu k}$ аналогична матрице инфинитезимальных характеристик и имеет такие же свойства, т. е. при $k \ne \nu$ элементы матрицы $q_{\nu k} > 0$ и выполняются равенства

$$\sum_k q_{\nu k} = 0, \quad \sum_{k \ne \nu} q_{\nu k} = -q_{kk}.$$

Запишем полумарковскую матрицу для SM-потока в условии ПРИС:

– при $k = \nu$

$$A_{kk}(x,\delta) = P\{\xi(n+1)=k, \tau(n+1)<x \mid \xi(n)=k\} = G_{kk}(x)\{1+\delta \cdot q_{kk}\};$$

– при $k \ne \nu$

$$A_{\nu k}(x,\delta) = P\{\xi(n+1)=k, \tau(n+1)<x \mid \xi(n)=\nu\} = G_{\nu k}(x) \cdot \delta \cdot q_{\nu k}.$$

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

С другой стороны, подставляя (4) в мультипликативную форму записи (3) полумарковской матрицы, получим:

$$A(x,\delta)=G(x)\cdot\{I+\delta\cdot Q\}. \qquad (5)$$

Обозначим через $m(t)$ число событий полумарковского потока, наступивших за время t на интервале $[0, t)$.

Процесс $m(t)$ является немарковским, поэтому необходимо его марковизировать методом дополнительных переменных. Для этого введем переменную $z(t)$ – длину интервала от момента времени t до момента наступления очередного события в рассматриваемом SM-потоке.

Однако двумерный процесс $\{m(t), z(t)\}$ не является марковским, поэтому рассмотрим еще один случайный процесс $s(t)$ с кусочно-постоянными реализациями, непрерывными слева, определенный равенством

$$s(t)=\xi(n+1),$$

если $t_n < t \le t_{n+1}$. Этот процесс на интервале $(t_n, t_{n+1}]$ принимает и сохраняет то значение, которое вложенная цепь Маркова $\xi(n)$ принимает в начале следующего интервала [1].

Определенный таким образом трехмерный случайный процесс $\{s(t), m(t), z(t)\}$ с двумя дополнительными переменными $s(t)$ и $z(t)$ является марковским с непрерывным временем и для распределения вероятностей

$$P(s,m,z,t,\delta)=P\{s(t)=s,m(t)=m,z(t)<z\} \qquad (6)$$

нетрудно составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова

$$\frac{\partial P(s,m,z,t,\delta)}{\partial t}=\frac{\partial P(s,m,z,t,\delta)}{\partial z}-$$
$$-\frac{\partial P(s,m,0,t,\delta)}{\partial z}+\sum_{\nu=1}^{\infty}\frac{\partial P(\nu,m-1,0,t,\delta)}{\partial z}A_{\nu k}(z), \qquad (7)$$

при заданном начальном условии

$$\begin{cases}P(s,0,z,0,\delta)=R(s,z,\delta),\\ P(s,m,z,0,\delta)=0,\quad m\ge 1,\end{cases} \qquad (8)$$

где функция $R(s, z, \delta)$ – стационарное распределение двумерного марковского процесса $\{s(t), z(t)\}$.

Обозначим функции

$$H(s,u,z,t,\delta)=\sum_{m=0}^{\infty}e^{jum}P(s,m,z,t,\delta), \qquad (9)$$

где $j=\sqrt{-1}$ – мнимая единица. Для этих функций из системы (7) и начальных условий (8) можно записать следующую задачу Коши:

$$\begin{cases}\dfrac{\partial H(s,u,z,t,\delta)}{\partial t}=\dfrac{\partial H(s,u,z,t,\delta)}{\partial z}-\\ -\dfrac{\partial H(s,u,0,t,\delta)}{\partial z}+e^{ju}\sum\limits_{\nu=1}^{\infty}\dfrac{\partial H(\nu,u,0,t,\delta)}{\partial z}A_{\nu k}(z,\delta),\\ H(s,u,z,0,\delta)=R(s,z,\delta).\end{cases} \qquad (10)$$

Обозначим

$$H(u,z,t,\delta)=\{H(1,u,z,t,\delta),H(2,u,z,t,\delta),...\}$$

и введем матрицу $A(z, \delta)$ с элементами $A_{k\nu}(z, \delta)$, тогда из (10) получим

$$\begin{cases}\dfrac{\partial H(u,z,t,\delta)}{\partial t}=\dfrac{\partial H(u,z,t,\delta)}{\partial z}+\dfrac{\partial H(u,0,t,\delta)}{\partial z}\{e^{ju}A(z,\delta)-I\},\\ H(u,z,0,\delta)=R(z,\delta),\end{cases} \qquad (11)$$

где I – единичная матрица; вектор $R(z, \delta)$ определяет начальное условие задачи (11) с компонентами $R(s, z, \delta)$ и, как показано в [4], имеет вид

$$R(z,\delta)=\kappa_1(\delta)r\int_0^z\big(P(\delta)-A(x,\delta)\big)dx,$$

здесь r – стационарное распределение вероятностей значений вложенной цепи Маркова $\xi(n)$, а величина $\kappa_1(\delta)$ определяется как

$$\kappa_1(\delta)=\frac{1}{rA(\delta)E},$$

где $A(\delta)=\int_0^{\infty}\big(P(\delta)-A(x,\delta)\big)dx.$

Найдем асимптотическое распределение вероятностей числа событий, наступивших в SM-потоке за время t, в условии предельно редких изменений состояний потока.

Обозначим

$$\lim_{\delta\to 0}H(u,z,t,\delta)=H(u,z,t). \qquad (12)$$

В задаче (11), с учетом (12), выполним предельный переход при $\delta\to 0$. Тогда для $H(u, z, t)$ получим совокупность независимых задач Коши [3; 4]:

$$\begin{cases}\dfrac{\partial H(u,z,t)}{\partial t}=\dfrac{\partial H(u,z,t)}{\partial z}+\dfrac{\partial H(u,0,t)}{\partial z}\{e^{ju}A(z)-I\},\\ H(u,z,0)=R(z),\end{cases} \qquad (13)$$

где $\lim\limits_{\delta\to 0}P(\delta)=I$; $\lim\limits_{\delta\to 0}A(z,\delta)=A(z)$; $\lim\limits_{\delta\to 0}A(\delta)=A$; $\lim\limits_{\delta\to 0}\kappa_1(\delta)=\kappa_1$; $\lim\limits_{\delta\to 0}R(z,\delta)=R(z)$.

С учетом вида матрицы $A(z)$, получим из (12) совокупность независимых дифференциальных уравнений

$$\frac{\partial H(s,u,z,t)}{\partial t}=\frac{\partial H(s,u,z,t)}{\partial z}+\frac{\partial H(s,u,0,t)}{\partial z}\{e^{ju}G_{ss}(z)-1\}. \qquad (14)$$

Начальные условия имеют вид

$$H(s,u,z,0)=R(s,z). \qquad (15)$$

Решение задачи (14), (15) найдем, применяя преобразование Фурье–Стилтьеса:

$$\varphi(s,u,\alpha,t)=\int_0^{\infty}e^{j\alpha z}d_zH(s,u,z,t). \qquad (16)$$

Функция $\varphi(s, u, б, t)$ удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial\varphi(s,u,\alpha,t)}{\partial t}=-j\alpha\varphi(s,u,\alpha,t)+\frac{\partial H(s,u,0,t)}{\partial z}\{e^{ju}G^*_{ss}(\alpha)-1\} \qquad (17)$$

и начальному условию

$$\varphi(s,u,\alpha,0)=\int_0^{\infty}e^{j\alpha z}d_zH(s,u,z,0)=\int_0^{\infty}e^{j\alpha z}d_zR(s,z)=R^*(s,\alpha), \qquad (18)$$

где $G^*_{ss}(\alpha)=\int_0^{\infty}e^{j\alpha z}d_zG_{ss}(z).$

Решение дифференциального уравнения (17) имеет вид

$$\varphi(s,u,\alpha,t)=e^{-j\alpha t}\times$$
$$\times\left\{R^*(s,\alpha)+\int_0^t e^{j\alpha\tau}\frac{\partial H(s,u,0,\tau)}{\partial z}\big(e^{ju}G^*_{ss}(\alpha)-1\big)d\tau\right\}. \qquad (19)$$

А так как

$$\lim_{t\to\infty}\varphi(s,u,\alpha,t)=\int_0^{\infty}e^{j\alpha z}d_zH(s,u,z,\infty)=0,$$

то, устремив t в равенстве (19) в бесконечность, получим

$$0=R^*(s,\alpha)+\int_0^{\infty}e^{j\alpha\tau}\frac{\partial H(s,u,0,\tau)}{\partial z}\big(e^{ju}G^*_{ss}(\alpha)-1\big)d\tau.$$

Из этого равенства найдем преобразование Фурье по τ от функции $\dfrac{\partial H(s,u,0,\tau)}{\partial z}$:

$$\int_0^\infty e^{j\alpha\tau}\frac{\partial H(s,u,0,\tau)}{\partial z}d\tau = R^*(s,\alpha)\left(1-e^{ju}G_{ss}^*(\alpha)\right)^{-1}.$$

Выполним обратное преобразование Фурье:

$$\frac{\partial H(s,u,0,\tau)}{\partial z} = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\alpha\tau}R^*(s,\alpha)\left(1-e^{ju}G_{ss}^*(\alpha)\right)^{-1}d\alpha.$$

Равенство (19), с учетом полученного преобразования, запишем в виде

$$\varphi(s,u,\alpha,t) = e^{-j\alpha t}\Big\{R^*(s,\alpha)+$$

$$+\int_0^t e^{j\alpha\tau}\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-jy\tau}R^*(s,y)\left(1-e^{ju}G_{ss}^*(y)\right)^{-1}dy\left(e^{ju}G_{ss}^*(\alpha)-1\right)d\tau\Big\}. \quad (20)$$

Зная, что $H(s, u, \infty, t) = H(s, u, t) = \varphi(s, u, 0, t)$, $R^*(s, 0) = \kappa_1 r_s A_{ss}$, $G^*_{ss}(0) = 1$, получим выражение для функции $H(s, u, t)$:

$$H(s,u,t) = \kappa_1 r_s A_{ss} +$$

$$+\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\int_0^t e^{-jy\tau}d\tau R^*(s,y)\left(1-e^{ju}G_{ss}^*(y)\right)^{-1}dy\left(e^{ju}-1\right). \quad (21)$$

С учетом того, что

$$\int_0^t e^{-jy\tau}d\tau = \frac{1}{jy}\left(1-e^{-jyt}\right)$$

и

$$R^*(s,y) = \int_0^\infty e^{jyz}d_z R(s,z) =$$

$$= \kappa_1 r_s\int_0^\infty e^{jyz}d\int_0^z\left(1-G_{ss}(x)\right)dx = \frac{\kappa_1 r_s\left(G_{ss}^*(y)-1\right)}{jy},$$

равенство (21) запишем в виде

$$H(s,u,t) = \kappa_1 r_s A_{ss} +$$

$$+\frac{\kappa_1 r_s}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{y^2}\left(1-e^{-jyt}\right)\left(1-G_{ss}^*(y)\right)\left(1-e^{ju}G_{ss}^*(y)\right)^{-1}dy\left(e^{ju}-1\right). \quad (22)$$

Обозначим $h(u,t) = \sum_s H(s,u,t)$. Тогда

$$h(u,t) = \sum_s H(s,u,t) = 1+\frac{\left(e^{ju}-1\right)\kappa_1}{2\pi}\times$$

$$\times\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{y^2}\left(1-e^{-jyt}\right)\sum_s r_s\left(1-G_{ss}^*(y)\right)\left(1-e^{ju}G_{ss}^*(y)\right)^{-1}dy.$$

Зная, что

$$h(u,t) = \sum_s H(s,u,t) \approx \sum_s H(s,u,t,\delta) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{jun}P(n,t),$$

и раскладывая в ряд правую часть полученного равенства по степеням экспоненты e^{ju}, можно записать следующее асимптотическое равенство:

$$h(u,t) \approx \sum_{m=0}^{\infty} e^{jum}P(m,t) =$$

$$= 1+\frac{\left(e^{ju}-1\right)\kappa_1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{y^2}\left(1-e^{-jyt}\right)\sum_s r_s\left(1-G_{ss}^*(y)\right)\sum_{m=0}^{\infty}e^{jum}G_{ss}^{*\,n}(y)dy =$$

$$= 1-\frac{\kappa_1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{y^2}\left(1-e^{-jyt}\right)\sum_s r_s\left(1-G_{ss}^*(y)\right)dy +$$

$$+\frac{\kappa_1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{y^2}\left(1-e^{-jyt}\right)\sum_s r_s\left(1-G_{ss}^*(y)\right)^2\sum_{m=1}^{\infty}e^{jum}G_{ss}^{*\,m-1}(y)dy.$$

Тогда асимптотическое распределение вероятностей $P_1(m, t)$ числа m событий, наступивших в SM-потоке за время t, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} P_1(0,t) = 1-\dfrac{\kappa_1}{2\pi}\displaystyle\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{y^2}\left(1-e^{-jyt}\right)\sum_s r_s\left(1-G_{ss}^*(y)\right)dy, \\ P_1(m,t) = \dfrac{\kappa_1}{2\pi}\displaystyle\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{y^2}\left(1-e^{-jyt}\right)\sum_s r_s\left(1-G_{ss}^*(y)\right)^2\sum_{m=1}^{\infty}e^{jum}G_{ss}^{*\,m-1}(y)dy, \end{cases} \quad (23)$$

где $P_1(m,t) \approx P(m,t)$.

Итак, выше нами были получены формулы, позволяющие найти асимптотическое распределение числа событий, наступивших в SM-потоке за время t. Это распределение также было найдено в допредельной ситуации методом интегральных преобразований [1]. Остается выяснить, насколько результаты, полученные с помощью метода асимптотического анализа, близки к результатам, полученным в допредельной ситуации. Для этого нужно найти величину

$$\Delta = \max_n\left|\hat{F}(n,t)-F(n,t)\right|,$$

где $\hat{F}(n,t)$ – функция распределения, полученная с помощью асимптотического анализа; $F(n, t)$ – функция распределения для допредельной ситуации, полученная в [1].

Пусть

$$Q = \begin{Bmatrix} -3 & 1 & 2 \\ 3 & -4 & 1 \\ 4 & 2 & -6 \end{Bmatrix},$$

$$G(x) = \begin{Bmatrix} 1-e^{-5x} & 1-e^{-2x} & 1-e^{-10x} \\ 1-e^{-4x} & 1-e^{-x} & 1-e^{-9x} \\ 1-e^{-6x} & 1-e^{-3x} & 1-e^{-8x} \end{Bmatrix}, t = 6.$$

При заданных параметрах получим следующие значения отклонение результатов, полученных методом асимптотического анализа и в [1] для допредельной ситуации:

δ	0,001	0,000 5	0,000 1	0,000 05	0,000 01
Δ	0,042 7	0,021 6	0,004 2	0,002 1	0,000 3

Распределения вероятностей числа событий в потоке, наступивших за время $t = 6$ и полученных с помощью асимптотического анализа и в допредельной ситуации, показаны ниже (рис. 1–3).

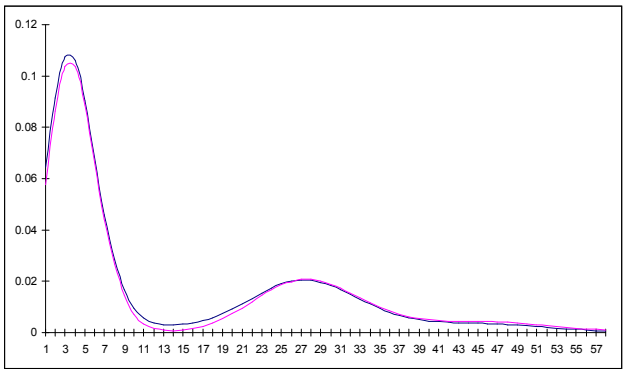


Рис. 1. Распределения вероятностей числа событий SM-потока при $\delta = 0{,}001$

Таким образом, получены асимптотические распределения вероятностей числа событий, наступивших в SM-потоке за время t. При уменьшении параметра δ меняется отклонение результатов асимптотического анализа от

найденных в допредельной ситуации и при $\delta \le 0,0001$ оно составляет менее 1 %. Также следует отметить, что полученное распределение является многомодальным.

Библиографические ссылки

1. Лопухова С. В. Асимптотические и численные методы исследования специальных потоков однородных событий : дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск, 2008.

2. Назаров А. А., Терпугов А. Ф. Теория вероятностей и случайных процессов : учеб. пособие. Томск : НТЛ, 2006.

3. Назаров А. А., Моисеева С. П. Методы асимптотического анализа в теории массового обслуживания. Томск : НТЛ, 2006.

4. Горбатенко А. Е. Исследование квазиразложимого поумарковского потока // Теория вероятностей, математическая статистика и приложения : сб. материалов Междунар. науч. конф. Минск, 2010. С. 53–59.

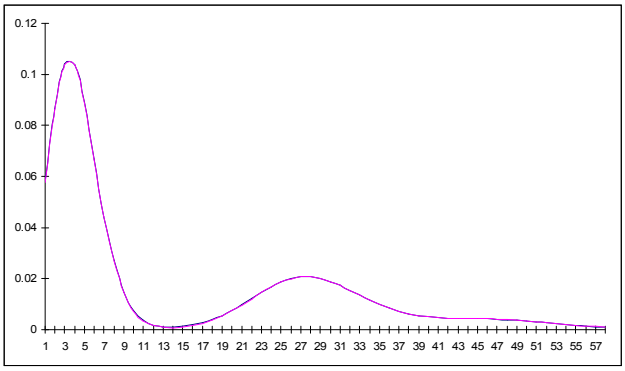


Рис. 2. Распределения вероятностей числа событий SM-потока при $\delta = 0,0001$

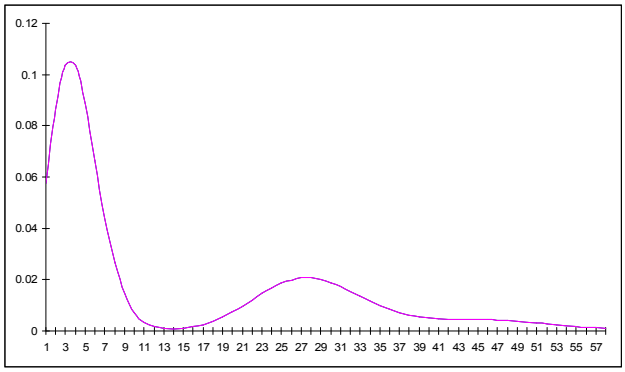


Рис. 3. Распределения вероятностей числа событий SM-потока при $\delta = 0,00001$

A. E. Gorbatenko, A. A. Nazarov

RESEARCH OF SEMIMARKOVIAN PROCESS IN CONDITIONS OF LIMIT RARE CHANGES OF ITS STATES

In this work the SM process in condition of limit rare changes of states of the process is considered. The offered asymptotic condition contains distribution of probabilities of number of events occurred in SM process for time t. It is demonstrated that this distribution can be multimodal.

Keywords: SM process, states of a flow, limit rare changes of flow states, method of additional variable, method of asymptotic analysis.

© Горбатенко А. Е., Назаров А. А., 2010

УДК 539.3:621.396.67

А. С. Евдокимов, Ю. И. Буянов, С. В. Пономарев, Г. В. Шипилов, В. И. Халиманович

СОВМЕСТНЫЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНТИЧНЫХ РЕФЛЕКТОРОВ

Рассмотрен вариант комплексной методики компьютерного моделирования трансформируемых рефлекторов космических аппаратов, позволяющий достичь лучших характеристик антенн.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, рефлектор, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, диаграмма направленности.

В настоящее время антенные системы широко используются в различных областях науки и техники, особенно в современной спутниковой связи, для которой требуются антенны с высокой точностью формы зеркала. Экспериментальная отработка таких изделий в наземных условиях требует больших материальных и временных затрат. Поэтому разработка компьютерного моделирования антенных конструкций приобретает все большую актуальность.

В работе М. В. Гряника и В. И. Ломана [1] были рассмотрены классификация развертываемых антенн и расчет характеристик излучения зеркальных антенн зонтич-

ного типа. В диссертации Г. Тиберта [2] разрабатывались варианты конструкции крупногабаритных космических рефлекторов. Методы моделирования напряженно-деформированного состояния мембранных конструкций, в том числе и рефлекторов ободного и зонтичного типов, представлены в [3; 4], а также в ряде других зарубежных изданий. Однако в доступных публикациях не исследовалось влияние выраженного напряженного состояния отражающей поверхности из металлического сетеполотна на электродинамические характеристики зеркальных антенн.

В данной статье рассматривается параболический рефлектор зонтичного типа диаметром 4 м, силовая схема которого представляет собой конструкцию, состоящую из силовых и точностных спиц (рис. 1).

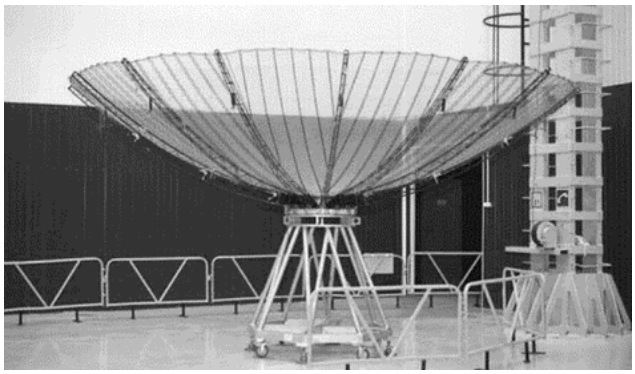


Рис. 1. Рефлектор для спутника «Луч»

Для получения численного решения задачи о напряженно-деформированном состоянии рефлектора использовался метод конечных элементов [5], реализованный в программном комплексе ANSYS. Конечно-элементная модель (КЭМ) конструкции (рис. 2) строилась исходя из следующих принципов:

– сетеполотно моделируется оболочечными мембранными элементами;

– веревочные элементы (шпангоут, оттяжки) моделируются линейными элементами, работающими только на растяжение;

– спицы (силовые, точностные) моделируются балочными элементами с заданным сечением.

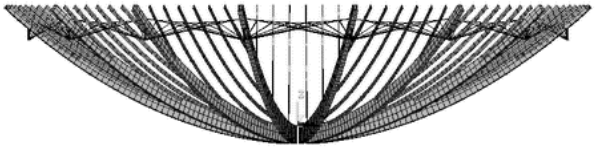


Рис. 2. Конечно-элементная модель рефлектора без сетеполотна

Данная модель была использована для проведения расчета напряженно-деформированного состояния рефлектора. Начальная форма спиц и отражающей поверхности задавалась в соответствии с формой теоретического параболоида. В точках, где силовые спицы крепятся к ступице, заданы следующие граничные условия: перемещения и вращения равны нулю; шпангоут и оттяжки нагружены растягивающим усилием, равным 2 кгс и 0,1...0,2 кгс соответственно.

В ходе расчета отмечались отклонения силовых спиц от параболического профиля (рис. 3). Эти отклонения обусловлены изгибающим моментом, который создается растянутым сетеполотном и натянутыми оттяжками. Максимальные отклонения достигали 0,7 мм.

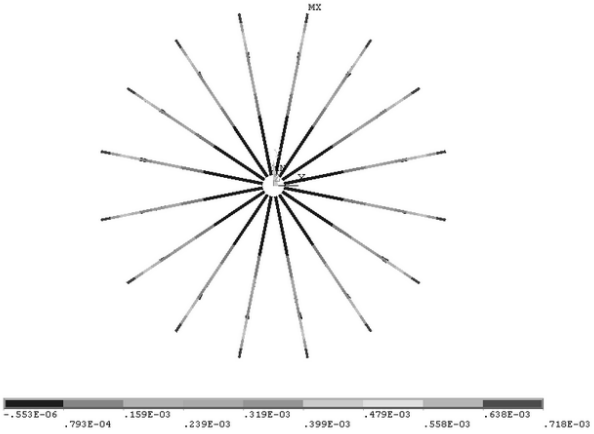


Рис. 3. Отклонения спиц по оси *Z*, м

Максимальные перемещения отражающей поверхности, не считая периферии, доходили до 0,8 мм (рис. 4). Натяжение сетеполотна, за исключением края, соответствовало номинальному (рис. 5). При этом среднеквадратичное отклонение (СКО) поверхности составило 0,56 мм.

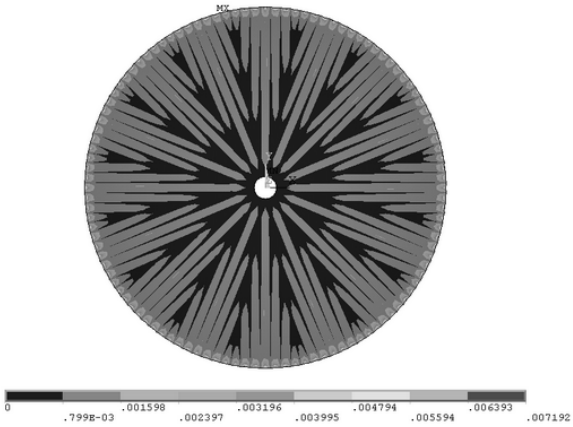


Рис. 4. Изолинии суммарных перемещений сетеполотна, м

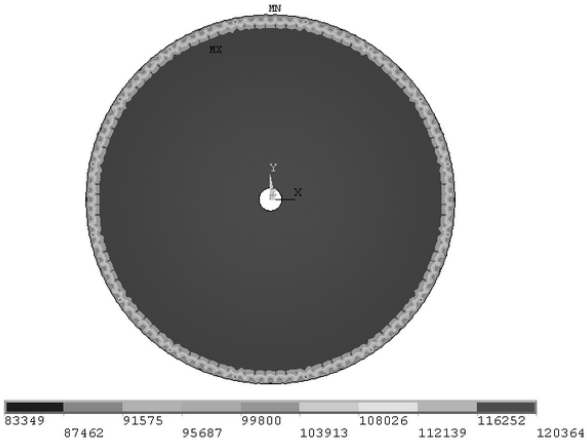


Рис. 5. Интенсивность напряжений, Па

Использование трикотажного металлического сетеполотна для отражающей поверхности трансформируемых космических антенн позволяет получить улучшенные удельные массовые характеристики для рефлекторов. Однако при этом начинает проявляться зависимость коэффициента отражения от напряженного состояния растянутого сетеполотна, изменяется размер ячеек сетеполотна, профиль зеркала отклоняется от параболического, что приводит к изменению электродинамических характеристик зеркала: коэффициента отражения поля от поверхности сетеполотна и формы диаграммы направленности (ДН). Таким образом, возникает необходимость в совместном моделировании напряженно-деформированного состояния и радиотехнических характеристик рефлектора.

Определение основных радиотехнических характеристик антенн связано с получением выражения для электромагнитного поля в дальней зоне, когда источниками поля являются заданные сторонние токи j на отражающей поверхности рефлектора. Вектор плотности тока с учетом коэффициента отражения в данной точке поверхности зеркала можно определить с учетом ориентации векторов **H** в падающей и отраженной волнах по формуле

$$\mathbf{j}_s = 2[\mathbf{n}_0\mathbf{H}]R(\sigma),$$

где $\mathbf{j}_s$ – вектор плотности поверхностного тока в данной точке зеркала; **H** – вектор напряженности магнитного поля, создаваемого падающей волной облучателя в данной точке на поверхности зеркала; $\mathbf{n}_0$ – орт нормали к поверхности зеркала в этой же точке; $R(\sigma)$ – коэффициент отражения, зависящий в основном от размера ячейки сетеполотна и отношения размера ячейки к диаметру нити при одинаковой величине натяжении s вдоль рядов и вдоль столбцов плетения сетеполотна.

Полученная в результате моделирования равновесная форма отражающей поверхности рефлектора использована для расчета диаграмм направленности космического рефлектора методом физической оптики. Расчет проводился с помощью программного пакета для 3*D*-электромагнитного моделирования FEKO. Главной особенностью программы FEKO является удачное сочетание базового метода моментов с аналитическим методом физической оптики. В рамках метода физической оптики ток приближенно вычисляется через магнитное поле падающей на объект волны. Именно его полагают равным удвоенному касательному магнитному полю падающей волны. Далее рассеянное поле определяется с помощью аппарата функций Грина через заданное распределение токов.

В качестве облучателя рефлектора использовался рупор, фазовый центр которого располагался в фокусе параболоида. При вычислении ДН рефлектора в программе FEKO ДН рупора вводилась в виде массива данных, полученных экспериментально. Отклонения расчетной диаграммы направленности (рис. 6) от экспериментальной диаграммы направленности (рис. 7) составляло не более 10 %.

В настоящее время на телекоммуникационных спутниках широко используются многолучевые зеркальные антенны с вынесенной облучающей системой с развертываемым крупногабаритным рефлектором диаметром более 10 м (рис. 8). Методика расчета напряженно-деформированного состояния для такого 12-метрового рефлектора рассмотрена в [4; 7].

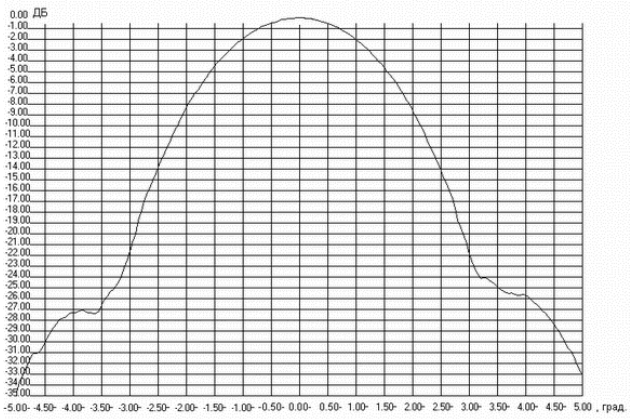


Рис. 6. Экспериментальная диаграмма направленности рефлектора

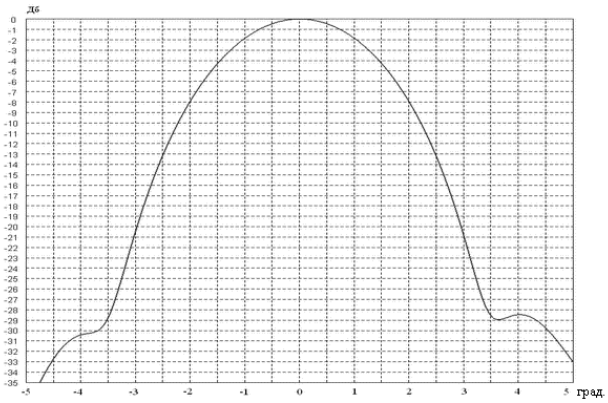


Рис. 7. Расчетная диаграмма направленности рефлектора

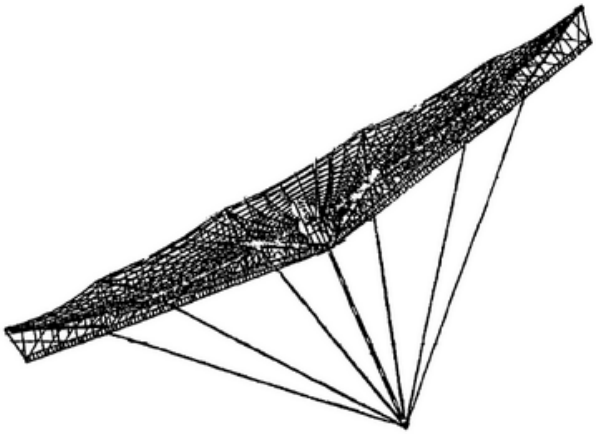


Рис. 8. Общий вид развертываемого рефлектора антенны космического аппарата

Для рефлекторов большего диаметра измерение диаграммы направленности является очень трудоемким процессом. Поэтому рассматриваемая методика позволяет облегчить решение задачи определения электродинамических характеристик таких рефлекторов. В качестве иллюстрации на рис. 9 представлены ДН 12-метрового рефлектора на частоте 8 ГГц при различных значениях СКО, полученных расчетным путем для равновесной формы рефлектора.

При проведении вычислений можно сделать вывод, что при увеличении СКО равновесной формы отражающей поверхности от параболической диаграмма направленности также имеет отличия от идеальной диаграммы 1: возрастают боковые лепестки, смещается главный лепесток и падает коэффициент усиления антенны.

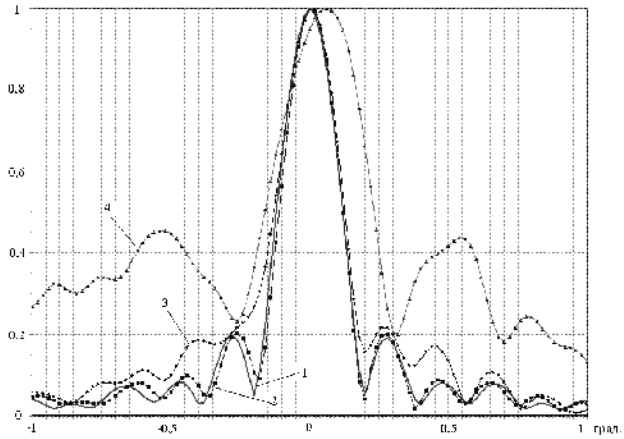


Рис. 9. Диаграмма направленности для расчетной равновесной формы 12-метрового рефлектора, линейный масштаб: *1* – идеальный параболоид; *2* – СКО = 0,5 мм; *3* – СКО = 2,0 мм; *4* – СКО = 6,5 мм

Таким образом, представленные в данной статье результаты показывают, что использование методики совместного компьютерного моделирования с позиций механики деформируемого твердого тела и электродинамики позволяет получить диаграммы направленности крупногабаритных рефлекторов без проведения технически сложных и затратных физических измерений.

Библиографические ссылки

1. Гряник М. В., Ломан В. И. Развертываемые зеркальные антенны зонтичного типа. М. : Радио и связь, 1987.

2. Tibert G. A. Deployable Tensegrity Structures for Space Applications : PhD. thesis. Stockholm, 2002.

3. Усманов Д. Б. Моделирование напряженно-деформированного состояния крупногабаритного трансформируемого рефлектора : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.02.04. Томск, 2006.

4. Моделирование температурных деформаций рефлекторов космических аппаратов / В. Г. Бутов, С. В. Пономарев, В. А. Солоненко, А. А. Ящук // Физика. 2004. № 10. С. 15–18.

5. Зенкевич О., Победря Б. Е. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975.

6. Пат. 2350519 Российская Федерация, МПК B 64 G 1/22, H 01 Q 15/16. Развертываемый крупногабаритный рефлектор космического рефлектора / Тестоедов Н. А., Халиманович В. И. и др. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». № 2007122219/11 ; заявл. 13.06.2007 ; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9.

7. Компьютерное моделирование трансформируемых космических рефлекторов / А. В. Бельков, В. Г. Бутов, А. С. Евдокимов и др. // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Серия: Математика, механика, информатика. 2008. № 3 (58). С. 284–293.

A. S. Evdokimov, Y. I. Buyanov, S. V. Ponomarev, G. V. Shipilov, V. I. Khalimanovich

JOINT CALCULATION OF MECHANICAL AND ELECTRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF UMBRELLA ANTENNA

This article considers a variant of complex technique of computer modeling of the transformable reflectors for spacecrafts which allows to gain the best characteristics of aerial.

Keywords: computer modeling, reflector, finite element method, mode of deformation, antenna pattern.

© Евдокимов А. С., Буянов Ю. И., Пономарев С. В., Шипилов Г. В., Халиманович В. И., 2010

УДК 537.6

Ю. В. Захаров, А. Ю. Власов, Р. В. Авакумов

ПРОДОЛЬНОЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ МУЛЬТИСЛОЙНОЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ С НЕМАГНИТНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Рассмотрен процесс перемагничивания магнитной системы, состоящей из двух ферромагнитных слоев с немагнитной прослойкой, нанесенной на антиферромагнитную подложку.

Ключевые слова: ферромагнетик, антиферромагнитная подложка, межслойное взаимодействие.

В современном научном мире большое внимание уделяется многослойным магнитным структурам, с помощью которых изготавливают магниторезистивные датчики, элементы магнитной памяти, спиновые диоды и т. п. В данной статье рассматриваются процессы перемагничивания многослойных магнитных систем, для исследования которых используется модель веерного вращения вектора намагниченности [1]. Объектом исследования является двухслойная магнитомягкая пленка с немагнитной прослойкой, в которой имеет место линейная зависимость намагниченности от внешнего поля, нанесенная на магнитожесткую подложку, обладающую прямоугольной петлей гистерезиса. Наличие такой подложки приводит к тому, что магнитомягкие слои будут характеризоваться неоднородным распределением вектора намагниченности по толщине пленки. Намагниченность подложки изменяться не будет, поскольку мы будем рассматривать поля меньше коэрцитивной силы подложки. В связи с этим магнитомягкие слои назовем просто ферромагнитными слоями.

В [1] исследовалась однослойная ферромагнитная пленка, нанесенная на антиферромагнитную подложку. Известно, что физические свойства пленки определяются свойствами ее поверхностей, т. е. граничными условиями. В [1] в качестве граничных рассматривались условия типа закрепления вектора намагниченности **M** на границе с антиферромагнетиком и свободного вектора **M** на границе с вакуумом.

В [2] было показано, что процесс перемагничивания такой магнитной системы носит пороговый характер, т. е. перемагничивание начинается с некоторого не равного нулю внешнего поля. Помимо этого в [2] была проведена аналогия между процессом перемагничивания и рассмотренным в работе [3] изгибом упругого стержня, защемленного с одного конца и свободного с другого, под действием внешней силы, приложенной к свободному концу. Также следует отметить работу [4], в которой исследовался процесс перемагничивания магнитомягкой пленки на магнитожесткой подложке с учетом одноосной анизотропии как аналогия изгиба стержня со сжатием.

В [5] граничное условие жесткого закрепления было заменено условием упругого закрепления магнитного момента путем введения эффективного промежуточного слоя на границе «ферромагнетик–антиферромагнетик». В более поздних работах (например, в [6]) рассматривалась двухслойная ферромагнитная система на антиферромагнитной подложке, слои которой жестко связаны между собой, как аналогия изгиба под действием внешней сосредоточенной нагрузки двухзвеньевого стержня, жестко защемленного на одном конце и свободного на другом [7].

Однако до настоящего времени не было исследовано влияние немагнитной прослойки на распределение намагниченности и пороговые поля перемагничивания. Поэтому в данной статье будет рассматриваться двухслойная магнитомягкая система на магнитожесткой подложке, но с присутствием между магнитными слоями немагнитной прослойки. Наличие последней требует постановки нового граничного условия.

Запишем потенциальную энергию ферромагнетика во внешнем магнитном поле **H**, следуя [8], в виде

$$F\left(\mathbf{M},\frac{\partial M_i}{\partial x_k}\right)=\frac{1}{2}\alpha_{ik}\frac{\partial\mathbf{M}}{\partial x_i}\frac{\partial\mathbf{M}}{\partial x_k}+w_a\left(\mathbf{M}\right)+f\left(M^2\right)-\mathbf{MH}, \quad (1)$$

где первое слагаемое представляет собой квадратичную форму, составленную из производных намагниченности по пространственным координатам; $w_a(\mathbf{M})$ – энергия магнитной анизотропии; $f(M^2)$ – некоторая функция от M^2. Мы будем рассматривать изотропные ферромагнитные пленки, в которых неоднородность распределения намагниченности имеется только по толщине пленки. Поэтому второе слагаемое обращается в нуль, а первое преобразуется к виду

$$\frac{1}{2}\alpha\left(\frac{d\mathbf{M}}{dz}\right)^2.$$

Ось z направлена перпендикулярно слоям. Третье слагаемое рассматривать не будем, так как при варьировании полной энергии оно дает нуль, поскольку длина вектора намагниченности считается неизменной. В результате энергию ферромагнитных слоев можно записать следующим образом:

$$U=\int_0^{d_1}\left(\frac{1}{2}\alpha_1\left(\frac{d\mathbf{M}_1}{dz}\right)^2-\mathbf{M}_1\mathbf{H}\right)dz+$$
$$+\int_{d_1+d_s}^{d_1+d_s+d_2}\left(\frac{1}{2}\alpha_2\left(\frac{d\mathbf{M}_2}{dz}\right)^2-\mathbf{M}_2\mathbf{H}\right)dz, \quad (2)$$

где d_1, d_2 – толщины; $\mathbf{M}_1$, $\mathbf{M}_2$ – намагниченности; α_1, α_2 – константы внутреннего обмена первого и второго слоев соответственно; d_s – толщина прослойки; **H** – внешнее магнитное поле.

Энергию межслойного взаимодействия представим в виде

$$U_s=-\frac{\alpha_s}{d_s}\mathbf{M}_1\mathbf{M}_2, \quad (3)$$

где α_s – постоянная межслойного взаимодействия. Коэффициент при произведении намагниченностей выбран

из тех соображений, что с увеличением толщины прослойки энергия взаимодействия должна убывать.

Таким образом, полная энергия магнитной системы составит

$$U = \int_0^{d_1}\left(\frac{1}{2}\alpha_1\left(\frac{d\mathbf{M}_1}{dz}\right)^2 - \mathbf{M}_1\mathbf{H}\right)dz +$$

$$+\int_{d_1}^{d_2}\left(\frac{1}{2}\alpha_2\left(\frac{d\mathbf{M}_2}{dz}\right)^2 - \mathbf{M}_2\mathbf{H}\right)dz - \frac{\alpha_s}{d_s}\mathbf{M}_1\mathbf{M}_2\Bigg|_{d_1}. \quad (4)$$

В пределах интегрирования величиной d_s пренебрегаем, так как считаем ее малой по сравнению с толщинами ферромагнитных слоев.

В данной задаче удобно перейти от проекций векторов к обобщенным координатам, которые представляет собой углы поворота векторов плотности намагниченности относительно оси x, направленной вдоль внешнего поля. Соответственно при полях ниже пороговых плотность намагниченности направлена против поля, поскольку мы рассматриваем процесс перемагничивания. Запишем выражение для полной энергии магнитной системы (4) в новых координатах:

$$U = \int_0^{d_1}\left(\frac{1}{2}\alpha_1 M_1^2\left(\frac{d\varphi_1}{dz}\right)^2 + M_1 H\cos\varphi_1\right)dz +$$

$$+\int_{d_1}^{d_2}\left(\frac{1}{2}\alpha_2 M_2^2\left(\frac{d\varphi_2}{dz}\right)^2 + M_2 H\cos\varphi_2\right)dz -$$

$$-\frac{\alpha_s}{d_s}M_1 M_2\cos\left(\varphi_2-\varphi_1\right)\Bigg|_{d_1}. \quad (5)$$

Исходя из условия минимума энергии в состоянии равновесия получаем выражение

$$\delta U = \alpha_1 M_1^2\frac{d\varphi_1}{dz}\delta\varphi_1\Bigg|_0^{d_1} + \alpha_2 M_2^2\frac{d\varphi_2}{dz}\delta\varphi_2\Bigg|_{d_1}^{d_2} -$$

$$-\int_0^{d_1}\left(\alpha_1 M_1^2\frac{d^2\varphi_1}{dz^2} + M_1 H\sin\varphi_1\right)\delta\varphi_1 dz -$$

$$-\int_{d_1}^{d_2}\left(\alpha_2 M_2^2\frac{d^2\varphi_2}{dz^2} + M_2 H\sin\varphi_2\right)\delta\varphi_2 dz +$$

$$+\frac{\alpha_s}{d_s}M_1 M_2\sin\left(\varphi_2-\varphi_1\right)\delta\left(\varphi_2-\varphi_1\right)\Bigg|_{d_1} = 0. \quad (6)$$

Поскольку вариации $\delta\varphi_1$ и $\delta\varphi_2$, входящие под знак интеграла, являются произвольными, то из (6) следует система независимых дифференциальных уравнений, определяющих распределение намагниченности в слоях:

$$\begin{cases}\alpha_1 M_1\dfrac{d^2\varphi_1}{dz^2} + H\sin\varphi_1 = 0,\\ \alpha_2 M_2\dfrac{d^2\varphi_2}{dz^2} + H\sin\varphi_2 = 0.\end{cases} \quad (7)$$

Слагаемые, не входящие в интегралы, скомбинируем при одинаковых вариациях $\delta\varphi_i$, где $i = 1, 2$. Если при этом учесть их независимость и произвольность, то получим следующие условия сшивки в точке d_1:

$$\begin{cases}\dfrac{\alpha_1}{d_1}\dfrac{d\varphi_1}{dz} = \dfrac{\alpha_s}{d_s}\dfrac{M_2}{M_1}\sin\left(\varphi_2-\varphi_1\right),\\ \dfrac{\alpha_1 M_1^2}{d_1}\dfrac{d\varphi_1}{dz} = \dfrac{\alpha_2 M_2^2}{d_2}\dfrac{d\varphi_2}{dz},\end{cases} \quad (8)$$

где z – нормированная на толщину слоя переменная ($0 \le z \le 1$). Далее будем использовать обозначение $C = (\alpha_s M_2)/(d_s M_1)$, которое характеризует жесткость связи слоев. При больших значениях C первое уравнение в (8) переходит в $\varphi_1 = \varphi_2$.

Помимо условий сшивки из (6) следуют два граничных условия:

$$\begin{cases}\alpha_1 M_1^2\dfrac{d\varphi_1}{dz}\delta\varphi_1\Bigg|_0 = 0,\\ \alpha_2 M_2^2\dfrac{d\varphi_2}{dz}\delta\varphi_2\Bigg|_{d_1+d_2} = 0.\end{cases} \quad (9)$$

Будем считать, что магнитные моменты нижнего ферромагнитного слоя жестко связаны с магнитными моментами подложки, поэтому угол φ_1 на границе с подложкой будет оставаться неизменным, благодаря чему его вариация станет равной нулю. На границе с вакуумом магнитные моменты имеют свободу. Математически это выразится в условиях следующего вида:

$$\begin{cases}\varphi_1\big|_0 = 0,\\ \dfrac{d\varphi_2}{dz}\Bigg|_{d_1+d_2} = 0.\end{cases} \quad (10)$$

Как частный случай рассмотрим систему, состоящую из одинаковых по толщине ферромагнитных слоев. Толщину каждого ферромагнитного слоя будем считать равной d. Уравнения, определяющие распределение направлений вектора намагниченности, запишутся следующим образом:

$$\frac{d^2\varphi_i}{dz^2} + \frac{Hd^2}{\alpha_i M_i}\sin\varphi_i = 0,\ i = 1, 2, \quad (11)$$

где z – нормированная на толщину слоя переменная. Решение этого уравнения хорошо известно (см. например, [1; 2]) и записывается с помощью спецфункции $\mathrm{sn}(u, k)$, называемой эллиптическим синусом Якоби:

$$\varphi_i(z) = 2\arcsin\left[k_i\,\mathrm{sn}\left(\sqrt{\frac{Hd^2}{\alpha_i M_i}}z + F_i, k_i\right)\right], i = 1, 2. \quad (12)$$

Уравнение дополняется условиями сшивки на границе сопряжения слоев

$$\begin{cases}\alpha_1 M_1\dfrac{d\varphi_1(1)}{dz} = \alpha_2 M_2\dfrac{d\varphi_2(0)}{dz},\\ \dfrac{\alpha_1}{d}\dfrac{d\varphi_1(1)}{dz} = C\sin\left(\varphi_2(0)-\varphi_1(1)\right)\end{cases}$$

и условиями на границе с вакуумом и подложкой

$$\begin{cases}\dfrac{d\varphi_2(1)}{dz} = 0,\\ \varphi_1(0) = 0.\end{cases} \quad (13)$$

Используемая при решении система координат приведена ниже (рис. 1). Из соображений удобства математических вычислений для каждого слоя введена собственная система координат. Спиралью отмечено наличие межслойного взаимодействия.

Применяя условия сшивки и граничные условия к решениям, получим

$$\begin{cases}k_1\,\mathrm{cn}\,u_1 = \gamma k_2\,\mathrm{cn}\,u_2,\\ \rho u_1 k_1\,\mathrm{cn}\,u_1 = \left(k_2\,\mathrm{sn}\,u_2\,\mathrm{dn}\,u_1 - k_1\,\mathrm{sn}\,u_1\,\mathrm{dn}\,u_2\right)\times\\ \times\left(\mathrm{dn}\,u_1\,\mathrm{dn}\,u_2 + k_1 k_2\,\mathrm{sn}\,u_2\,\mathrm{sn}\,u_1\right),\end{cases} \quad (14)$$

где $u_1 = \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{h}{h_c}}$; $u_2 = F_2 = K(k_2) - \frac{\pi}{4\gamma}\frac{M_2}{M_1}\sqrt{\frac{h}{h_c}}$;

$h_c = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{\alpha_1}{4d^2}$; $\gamma = \sqrt{\frac{\alpha_2 M_2^3}{\alpha_1 M_1^3}}$; $\rho = \frac{\alpha_1}{Cd} = \frac{\alpha_1 d_s M_1}{\alpha_s d M_2}$;

$\mathrm{cn}(u, k)$, $\mathrm{sn}(u, k)$, $\mathrm{dn}(u, k)$ – соответственно косинус, синус и дельта-функция Якоби. Константа интегрирования F_1 в этом случае равна нулю.

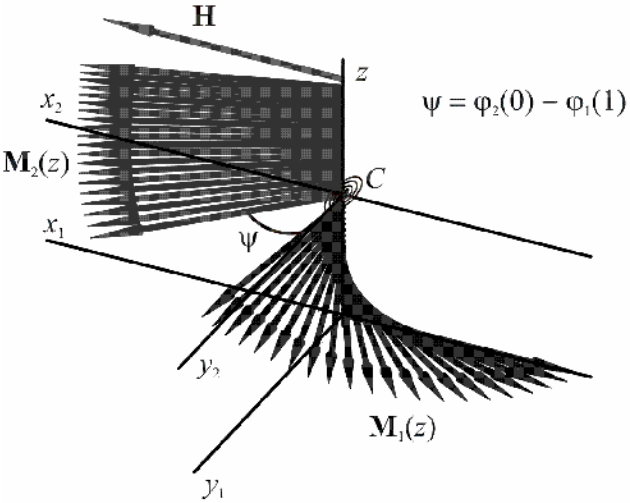


Рис. 1. Система координат

Из (14) можно определить пороговые поля перемагничивания. Для этого воспользуемся тем фактом, что на пороге эллиптические модули k_1 и k_2 равны нулю, и тогда эллиптические функции перейдут в тригонометрические. После преобразований получаем уравнение

$$\rho\frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{h^{\text{th}}}{h_c}} + \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{h^{\text{th}}}{h_c}}\right) = \frac{1}{\gamma}\mathrm{ctg}\left(\frac{\pi}{4\gamma}\sqrt{\frac{h^{\text{th}}}{h_c}}\right), \qquad (15)$$

где $h^{\text{th}} = H^{\text{th}}M$ – пороговое поле. Решая уравнение (15) относительно $h^{\text{th}}h_c$ при разных значениях γ и ρ, получаем зависимость, изображенную на рис. 2.

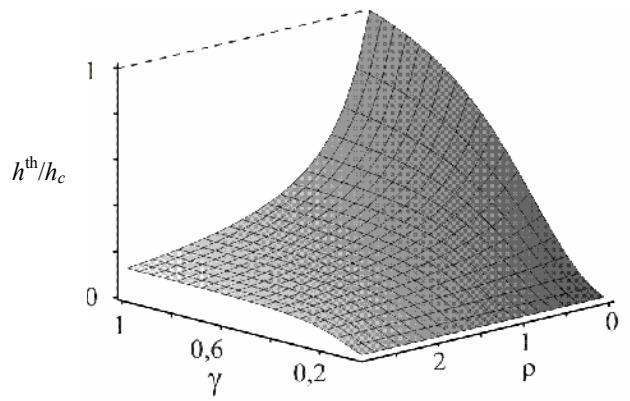


Рис. 2. Зависимость пороговых полей от γ и ρ

Уравнение (15) в предельном случае отсутствия прослойки ($d_s = 0$) для двух одинаковых ферромагнитных слоев ($\gamma = 1$) дает известный результат

$$h^{\text{th}} = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{\alpha_1}{4d^2},$$

что соответствует пороговому полю одного ферромагнитного слоя толщины $2d$.

В другом предельном случае, когда толщина прослойки велика и взаимодействие между слоями мало ($\rho \to \infty$), из второго уравнения (14) получаем

$$\cos\frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{h^{\text{th}}}{h_c}} = 0,$$

что дает

$$h^{\text{th}} = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{\alpha_1}{d^2}.$$

Этот результат соответствует пороговому полю одного ферромагнитного слоя толщины d. Таким образом, в случае отсутствия взаимодействия между слоями пороговое поле имеет только слой, сопряженный с подложкой.

Необходимо также исследовать поведение кривых перемагничивания. Рассмотрим частный случай двух одинаковых ферромагнитных слоев, разделенных немагнитной прослойкой. Варьировать будем только параметр ρ. Среднее значение проекции намагниченности на ось x можно определить по формуле

$$\overline{m}_x = \int_0^1 m_x dz = -\int_0^1 \cos\varphi dz.$$

Производя интегрирование, получаем

$$\overline{m}_x = 1 - \frac{1}{u_1}\times$$

$$\times\left(E\left(\mathrm{am}[u_1, k_1], k_1\right) - E\left(\mathrm{am}\left[K(k_2) - u_1, k_2\right], k_2\right) + E\left(\frac{\pi}{2}, k_2\right)\right), \qquad (16)$$

где $\mathrm{am}(u, k)$ – амплитуда Якоби.

Полученные кривые перемагничивания (рис. 3) соответствуют следующим системам: магнитной системе, состоящей из одного ферромагнитного слоя толщины $2d$, поскольку d_s, а значит и параметр ρ, равны нулю (кривая *1*); системам, включающим немагнитную прослойку разной толщины (кривые *2*, *3*), причем системе с более толстой прослойкой соответствует кривая, имеющая большее смещение в сторону низких внешних полей в начале процесса перемагничивания.

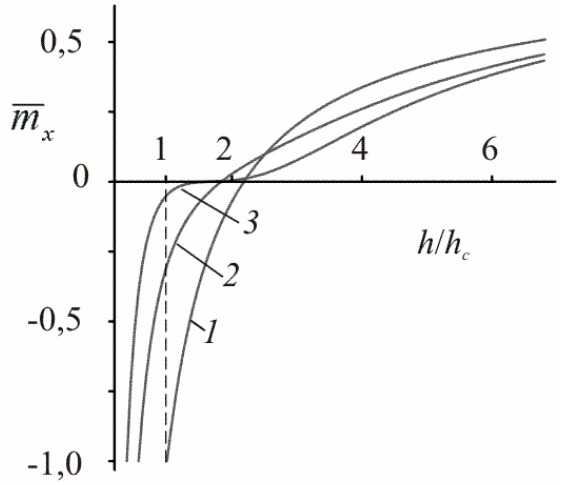


Рис. 3. Зависимость проекции средней намагниченности на ось x от внешнего поля при разных значениях параметра ρ: *1* – ρ = 0; *2* – ρ = 1,4; *3* – ρ = 2,8

На кривой *3* заметна пологость в районе нулевого значения проекции намагниченности. Это можно объяснить тем, что в рамках рассматриваемой модели в процессе перемагничивания нижнего слоя имеется конкуренция

между влиянием обменной связи с магнитожесткой подложкой и обменного взаимодействия с верхним слоем. При определенном соотношении физических характеристик магнитомягких слоев и немагнитной прослойки на некотором интервале внешнего поля начинает преобладать влияние обменной связи подложки, благодаря чему намагниченность нижнего слоя может вернуться в начальное положение, т. е. она будет стремиться ориентироваться против поля. При дальнейшем увеличении внешнего поля последнее совместно с обменным взаимодействием преодолевает влияние подложки, и процесс перемагничивания в нижнем слое продолжается.

Таким образом, было проведено исследование влияния немагнитной прослойки в системе «ферромагнетик–прослойка–ферромагнетик–антиферромагнетик» на величину порогового поля начала перемагничивания и построены кривые перемагничивания при разных значениях введенного эффективного параметра ρ, характеризующего межслойное обменное взаимодействие.

Библиографические ссылки

1. Aharoni A., Frei E. H., Strinkman S. // J. Appl. Phys. 1959. Vol. 30, № 12. P. 1956–1961.

2. Захаров Ю. В. Статическая и динамическая потеря устойчивости ферромагнитного слоя при перемагничивании // Докл. Рос. акад. наук. 1995. Т. 344, № 3. С. 328–332.

3. Захаров Ю. В., Охоткин К. Г. Нелинейный изгиб тонких упругих стержней // Журн. прикл. механики и техн. физики. 2002. Т. 4, № 5. С. 124–131.

4. Захаров Ю. В., Исакова В. В., Охоткин К. Г. Аналогия перемагничивания обменно-связанной магнитной структуры и изгиба упругого стержня со сжатием // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 2 (23). С. 122–125.

5. Пороги перемагничивания магнитомягкого слоя в обменно-связанной структуре в зависимости от поверхностного обмена / Ю. В. Захаров, Г. И. Фролов, В. А. Середкин и др. // Новые магнитные материалы микроэлектроники : сб. тр. XX Междунар. шк.-семинара / Моск. гос. ун-т. М., 2006. С. 201–203.

6. Magnetization reversal of the multilayer magnetic film / Yu. V. Zakharov, K. G. Okhotkin, A. D. Skorobogatov, V. V. Isakova // Magnetism on a Nanoscale : proc. of EASTMAG-2007. Kazan, 2007. P. 184.

7. Власов А. Ю., Охоткин К. Г. Нелинейный изгиб составного стержня переменной жесткости под действием продольной и поперечной нагрузки // Вестник КрасГУ. Физико-математические науки. 2006. № 1. С. 26–28.

8. Ахиезер А. И., Барьяхтар В. Г., Пелетминский С. В. Спиновые волны. М. : Наука, 1967.

Yu. V. Zakharov, A. Yu. Vlasov, R. V. Avakumov

DILATATIONAL MAGNETIC POLARITY REVERSAL OF MULTILAYER FERROMAGNETIC SYSTEM WITH NONMAGNETIC INTERLAYER

Magnetic polarity reversal of magnetic system consisting of two ferromagnetic layers with nonmagnetic interlayer applied to antiferromagnetic base surface is considered.

Keywords: ferromagnetic, antiferromagnetic base surface, interlayer interaction.

© Захаров Ю. В., Власов А. Ю., Авакумов Р. В., 2010

УДК 535.5; 538

Е. А. Попов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСИТОН-ДВУХМАГНОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В НИЗКОМЕРОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЕ

В модели невзаимодействующих квазичастиц рассчитана форма экситон-двухмагнонных полос поглощения света в коллинеарном антиферромагнетике с плоской квадратной решеткой для четырех возможных механизмов таких возбуждений. Полученные результаты сравниваются с экспериментом.

Ключевые слова: экситон, магнон, поглощение света, антиферромагнетик.

Оптические спектры антиферромагнетиков, содержащих ионы с незаполненной $3d^5$-оболочкой, связаны, как правило, с переходами, запрещенными в одноионном приближении по проекции спина и по четности. Поэтому в спектрах кристаллов антиферромагнетиков интенсивные электродипольные полосы поглощения обязаны коллективным возбуждениям, когда в процессе поглощения света рождаются или поглощаются несколько квазичастиц: экситонов, магнонов, фононов. Вместо ожидаемых единичных слабых экситонных полос в оптическом спектре таких кристаллов наблюдается на несколько порядков большее число интенсивных полос поглощения. Определить природу этих полос чрезвычайно сложно, и только небольшая их часть может быть однозначно идентифицирована.

В частности, полосы, связанные с участием в поглощения света магнонов, можно идентифицировать по поведению поглощения света в магнитном поле. Так, в коллинеарном антиферромагнетике запрет по спину снимается в процессе экситон-магнонного поглощения. В случае же участия в поглощении экситона и двух магнонов запрет не снимается. По этой причине экситон-двухмагнонные полосы поглощения в коллинеарном антиферромагнетике не наблюдаются. Однако при индуцировании в кристалле внешним магнитным полем неколлинеарности магнитных моментов подрешеток эти полосы появляются и нарастают по интенсивности с увеличением угла скоса магнитных подрешеток [1]. Но использовать этот идентификационный признак для таких полос трудно, так как напряженность внешнего магнитного поля, изменяющего взаимную ориентацию магнитных подрешеток, должна составлять заметную долю от обменного поля кристалла. В обсуждаемых кристаллах обменное поле H_E составляет ~10^6 кЭ, а максимально возможные поля, которые можно получить в современных лабораторных условиях, не превышают 300 кЭ.

Известны лишь единичные случаи экспериментального наблюдения экситон-двухмагнонных полос поглощения света [2]. Причем эксперименты проводились на кристаллах с трехмерной магнитной структурой. В этом случае полосы, образованные с участием магнонов, узкие, что отражает распределение плотности магнонных состояний в пределах зоны Бриллюэна. Узкий пик плотности соответствует границе зоны Бриллюэна, поэтому максимум интенсивности экситон-магнонных полос смещен от положения экситонной полосы на величину, кратную энергии магнона с волновым вектором вблизи границы зоны Бриллюэна. Этот факт, в случае невозможности значительного изменения магнитной структуры кристалла внешним магнитным полем, используется для идентификации магнонных полос-спутников чисто экситонных полос. Однако это не всегда обоснованно. Так, в [3] показано, что в случае значительной экситонной дисперсии пик экситон-магнонного поглощения может значительно смещаться, а в случае низкоразмерных магнитных систем смещение максимума экситон-магнонного поглощения возможно и за счет увеличения плотности магнонных состояний во внутренних точках зоны Бриллюэна.

В данной статье приводятся результаты расчета формы экситон-двухмагнонных полос в антиферромагнитном кристалле с простой плоской квадратной решеткой, которая реализуется, например, в квазидвумерном антиферромагнетике Rb_2MnCl_4.

Расчет формы экситон-двухмагнонных полос поглощения света. Аналитическое выражение для коэффициента поглощения света в слабоанизотропном антиферромагнитном кристалле получено в работе [4]. Коэффициент поглощения света К(ω) определяется как

$$\text{К}(\omega) = -\frac{4\pi\omega}{cNv_c\eta}\,\mathrm{Im}\lim_{\delta\to 0} G(\hat{P}_{\text{eff}} \mid \hat{P}^{+}_{\text{eff}})_{\omega+i\delta} \qquad (1)$$

где ω – частота световой волны; c – скорость света; η – коэффициент отражения; v_c – объем элементарной магнитной ячейки кристалла; N – их число; G – фурье-образ функции Грина. Процесс парного поглощения света, когда один из ионов ($\boldsymbol{n}\alpha$) переходит в f-е возбужденное состояние, а у другого иона ($\boldsymbol{m}\beta$) изменяется проекция спина (магнитное возбуждение), характеризуется оператором эффективных дипольных моментов переходов, являющихся суммой операторов дипольных моментов переходов:

$$\hat{\Pi}^{+}_{\boldsymbol{n}\alpha,\boldsymbol{m}\beta} = \hat{P}^{fs}_{\boldsymbol{n}\alpha,\boldsymbol{m}\beta}(\hat{\sigma}_{\boldsymbol{n}\alpha}, \hat{S}_{\boldsymbol{m}\beta}), \qquad (2)$$

где операторы $\hat{\sigma}_{\boldsymbol{n}\alpha}$ и $\hat{S}_{\boldsymbol{m}\beta}$ описывают изменение состояния спинов соответствующих ионов. Используя операторы рождения и уничтожения, а также стандартные преобразования Гольштейна–Примакова, авторы [4] получили выражения для операторов дипольных моментов переходов в $\boldsymbol{k}$-м пространстве. После диагонализации гамильтониана системы экситонов и магнонов, вычисления функции Грина и подстановки результатов в (1) выражение для коэффициента поглощения света антиферромагнитного кристалла на частоте ω примет вид

$$\mathrm{K}(\omega)=\frac{8\pi^2\omega}{cv_c\eta}e^{-g(0)}\frac{1}{N}\times$$
$$\times\sum_{\mu,\boldsymbol{k}}|\boldsymbol{P}(\boldsymbol{k})|^2\prod_{\lambda,\boldsymbol{q}}\sum_{p_{\lambda\boldsymbol{q}}=-\infty}^{\infty}I_{|p_{\lambda\boldsymbol{q}}|}(Z_{\lambda,\boldsymbol{q}})\cdot\left(\frac{1+n_\lambda(\boldsymbol{q})}{n_\lambda(\boldsymbol{q})}\right)^{p_{\lambda,\boldsymbol{q}}/2}\times$$
$$\times\{[u_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta]^2\times$$
$$\times(1+n_\lambda(\boldsymbol{q}))\cdot\delta(\omega-E-\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k})-\sum_{\lambda,\boldsymbol{q}}p_{\lambda\boldsymbol{q}}\varepsilon_\lambda(\boldsymbol{q}))+$$
$$+[u_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta]^2n_\lambda\times$$
$$\times(\boldsymbol{k})\delta(\omega-E+\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k})-\sum_{\lambda,\boldsymbol{q}}p_{\lambda\boldsymbol{q}}\varepsilon_\lambda(\boldsymbol{q}))\},\qquad(3)$$

где $Z_{\mu,\boldsymbol{k}}=2\,|\,\Delta(\boldsymbol{k},\mu)\,|^2\sqrt{n_\mu(\boldsymbol{k})(1+n_\mu(\boldsymbol{k}))}$; $I_p(Z)=\frac{1}{p!}\left(\frac{Z}{2}\right)^p$, $p\geq 0$; Δ – экситон-магнонное взаимодействие; $n_\mu(\boldsymbol{k})$ – функция распределения магнонов μ-й ветви: $n(\boldsymbol{k})=\left[\exp(E(\boldsymbol{k})/k_\mathrm{B}T)-1\right]^{-1}$, здесь T – температура, k_B – константа Больцмана; $u_\mu(\boldsymbol{k})$ и $v_\mu(\boldsymbol{k})$ – коэффициенты преобразования, диагонализующие гамильтониан; $\theta=\frac{\theta_{n\alpha}-\theta_{m\beta}}{2}$, здесь $\theta_{\mathbf{n}\alpha}$, $\theta_{\mathbf{m}\beta}$ – углы между направлениями осей квантования спинов магнитных ионов $\boldsymbol{n}\alpha$ и $\boldsymbol{m}$; E и $\varepsilon(\boldsymbol{k})$ – энергии экситона и магнона соответственно.

Варьируя параметр $p_{\lambda\boldsymbol{k}}$ в (3), покажем различные вклады в поглощение света, связанное с участием магнонов.

При малых $p_{\lambda\boldsymbol{k}}$ можно выделить слагаемые, определяющие полосы поглощения, которые соответствуют разным механизмам возбуждений кристалла. Оставим только $p_{\lambda\boldsymbol{k}}=0,\pm1$ и используем асимптотику для $I(Z)$ при низких температурах:

$$I_0=1,\ I_1\approx\frac{Z}{2}=\left|\Delta(\boldsymbol{k},\mu)\right|^2\cdot\sqrt{n_\mu(\boldsymbol{k})(1+n_\mu(\boldsymbol{k})}\,.$$

Тогда

$$\mathrm{K}(\omega)\infty\sum_{\mu,\mathbf{k}}\left|\boldsymbol{P}(\boldsymbol{k})\right|^2\cdot\prod_{\lambda,\boldsymbol{q}}\Big[\left(\mathrm{K}_\mu^{e+m}(\boldsymbol{k})+\mathrm{K}_\mu^{e-m}(\boldsymbol{k})\right)+$$
$$+\left|\Delta(\lambda,\boldsymbol{q})\right|^2\left(1+n_\lambda(\boldsymbol{q})\right)\cdot\left(\mathrm{K}_\mu^{e+m+m}(\boldsymbol{k})+\mathrm{K}_\mu^{e-m+m}(\boldsymbol{k})\right)+$$
$$+\left|\Delta(\lambda,\boldsymbol{q})\right|^2n_\lambda(\boldsymbol{q})\cdot\left(\mathrm{K}_\mu^{e+m-m}(\boldsymbol{k})+\mathrm{K}_\mu^{e-m-m}(\boldsymbol{k})\right),\qquad(4)$$

где

$$\mathrm{K}_\mu^{e+m}(\boldsymbol{k})=[u_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta]^2\times$$
$$\times(1+n_\lambda(\boldsymbol{q}))\cdot\delta(\omega-E-\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k})),\qquad(5)$$
$$\mathrm{K}_\mu^{e-m}(\boldsymbol{k})=[u_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta]^2\times$$
$$\times n_\lambda(\boldsymbol{q})\cdot\delta(\omega-E+\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k}))\qquad(6)$$

есть коэффициенты поглощения света для холодного и горячего одномагнонных спутников экситонной полосы соответственно. Такая интерпретация слагаемых соотношения (3) следует из закона сохранения энергии. Вид δ-функции определяет, какой процесс описывает соответствующее слагаемое из (3). Слагаемые же

$$\mathrm{K}_\mu^{e+m+m}(\boldsymbol{k})=[u_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta]^2\times$$
$$\times(1+n_\lambda(\boldsymbol{q}))\cdot\delta(\omega-E-\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k})-\sum_{\lambda,\boldsymbol{q}}\varepsilon_{\lambda,\boldsymbol{q}}),$$
$$\mathrm{K}_\mu^{e-m+m}(\boldsymbol{k})=[u_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta]^2\times$$
$$\times n_\lambda(\boldsymbol{q})\cdot\delta(\omega-E+\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k})-\sum_{\lambda,\boldsymbol{q}}\varepsilon_{\lambda,\boldsymbol{q}}),$$
$$\mathrm{K}_\mu^{e+m-m}(\boldsymbol{k})=[u_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta]^2\times$$
$$\times(1+n_\lambda(\boldsymbol{q}))\cdot\delta(\omega-E-\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k})+\sum_{\lambda,\boldsymbol{q}}\varepsilon_{\lambda,\boldsymbol{q}}),$$
$$\mathrm{K}_\mu^{e-m-m}(\boldsymbol{k})=[u_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta]^2\times$$
$$\times n_\lambda(\boldsymbol{q})\cdot\delta(\omega-E+\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k})+\sum_{\lambda,\boldsymbol{q}}\varepsilon_{\lambda,\boldsymbol{q}})\qquad(7)$$

соответствуют различным двухмагнонным процессам в поглощении света, связанным как с поглощением (горячие полосы), так и с рождением (холодные полосы) магнонов. Первое соотношение описывает поглощение холодным двухмагнонным спутником экситонной полосы, второе – магнонным спутником горячей экситон-магнонной полосы, третье – горячим спутником экситон-магнонной линии, четвертое – двухмагнонным горячим спутником экситона.

Если использовать соотношения (5) и (6) для расчета формы полос поглощения света, то будет получена резко асимметричная ЭМ-полоса [5], форма которой, как было сказано выше, использовалась при идентификации экситон-магнонных полос. Однако сложность в интерпретации поглощения слоистых антиферромагнетиков требует отказа от такого простого подхода. С этой целью модифицируем соотношения (4)–(7) с учетом экситонной дисперсии, т. е. резонансной передачи электронного возбуждения между подрешетками антиферромагнетика. При этом коэффициент поглощения для холодной экситон-магнонной полосы с учетом закона сохранения импульса будет описываться выражением

$$\mathrm{K}(\omega)=\frac{8\pi^2\omega}{cv_c\eta}e^{-g(0)}\frac{1}{N}\times$$
$$\times\sum_{\mu,\boldsymbol{k}}|\boldsymbol{P}(\boldsymbol{k})|^2\left(1+n_\lambda(\boldsymbol{k})\right)[u_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta]^2\times$$
$$\times\delta(\omega-E(\boldsymbol{k})-\varepsilon_\mu(-\boldsymbol{k})),\qquad(8)$$

а для горячей – выражением

$$\mathrm{K}(\omega)=\frac{8\pi^2\omega}{cv_c\eta}e^{-g(0)}\frac{1}{N}\times$$
$$\times\sum_{\mu,\mathbf{k}}|\boldsymbol{P}(\boldsymbol{k})|^2\,n_\lambda(\boldsymbol{k})[u_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta]^2\delta(\omega-E(\boldsymbol{k})+\varepsilon_\mu(-\boldsymbol{k})).\qquad(9)$$

Суммирование ведется по волновым векторам $\boldsymbol{k}$ первой зоны Бриллюэна и ветвям спектра μ.

Для магнонных спутников экситон-магнонной полосы с учетом дисперсии экситонов и закона сохранения импульса (экситон-двухмагнонных процессов) имеем

$$\mathrm{K}^{e+m+m}(\omega)\infty$$
$$\infty\sum_{\mu,\boldsymbol{k}}|\,\boldsymbol{P}(\boldsymbol{k})\,|^2\,\left|\Delta(\lambda,\boldsymbol{q})\right|^2\left(1+n_\lambda(\boldsymbol{k})\right)\times$$
$$\times[u_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta]^2\times$$
$$\times\delta\left(\omega-E(\boldsymbol{k})-\sum_{\boldsymbol{k}_1-\boldsymbol{q}=-\boldsymbol{k}}\left(\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k}_1)+\sum_{\boldsymbol{q}}\varepsilon_\mu(\boldsymbol{q})\right)\right),\qquad(10)$$

$$\mathrm{K}^{e+m-m}(\omega)\infty$$
$$\infty\sum_{\mu,\boldsymbol{k}}|\,\boldsymbol{P}(\boldsymbol{k})\,|^2\,\left|\Delta(\lambda,\boldsymbol{q})\right|^2n_\lambda(\boldsymbol{k})\times$$
$$\times[u_\mu(\boldsymbol{k})\sin^2\theta-v_\mu(\boldsymbol{k})\cos^2\theta]^2\times$$
$$\times\delta\left(\omega-E(\boldsymbol{k})+\sum_{\boldsymbol{k}_1-\boldsymbol{q}=-\boldsymbol{k}}\left(\varepsilon_\mu(\boldsymbol{k}_1)-\sum_{\boldsymbol{q}}\varepsilon_\mu(\boldsymbol{q})\right)\right).\qquad(11)$$

Легко выписать выражения для интенсивности поглощения света еще для двух механизмов экситон-двухмагнонного поглощения – $K^{e\text{-}m+m}$ и $K^{e\text{-}m\text{-}m}$, соответствующих двум горячим процессам, которые связаны с поглощением термически возбужденных магнонов. Однако интенсивность таких процессов слишком мала, чтобы полосы такой природы можно было бы наблюдать.

Полученные соотношения можно использовать для вычисления распределения интенсивности поглощения света при участии магнонов. Для этого необходимо рассчитать дисперсионные зависимости для участвующих в поглощении квазичастиц, а затем, используя эти соотношения, провести суммирование по возможным состояниям квазичастиц.

Рассмотрим антиферромагнитную структуру, в которой магнитные моменты расположены в узлах простой квадратной решетки [6]. Дисперсионные соотношения для магнитных возбуждений в гейзенберговской модели имеют вид

$$\varepsilon_\mu = SI(0)\sqrt{1-\gamma^2(\boldsymbol{k})+2\cos^2\theta\cdot\gamma(\boldsymbol{k})[\gamma(\boldsymbol{k})-(-1)^\mu]}, \quad (12)$$

где $\gamma(\boldsymbol{k}) = \frac{1}{z}\sum_\delta e^{i\boldsymbol{k}\delta}$, здесь δ – вектор, соединяющий магнитный ион с первыми ближайшими соседями; θ – угол, который в случае коллинеарного антиферромагнетика с малой анизотропией, т. е. при $H > H_{кр}$, здесь $H_{кр}$ – критическое поле, превышающее поля фазовых переходов, обусловленных магнитной анизотропией, удовлетворяет соотношению $\cos\theta = \frac{H}{2H_E} = \frac{1}{-\mu_B g_0} S\cdot I(0)$, здесь g_0 – g-фактор основного состояния; $SI(0) = SzJ$, здесь J – внутрислоевой обмен между ближайшими соседями; z – число ближайших соседей ($z = 4$ в квадратной решетке).

Аналогично получим энергию для оптических возбуждений – экситонов [2]:

$$E_\mu(\boldsymbol{k}, f) = \Delta\tilde{\varepsilon}^f + A^f\cos\theta + \tilde{z}\tilde{M}^f\tilde{\gamma}(\boldsymbol{k}) - \\ -(-1)^\mu z\,|M^f|\,\gamma(\boldsymbol{k})\cos^2\theta, \quad (13)$$

где $\Delta\tilde{\varepsilon}^f = \Delta\varepsilon^f + J^f(0) - I^f(0)$;

$$A^f = \left[1-\frac{g^f(S-1)}{gS}\right]\cdot 2S^2 I(0) + 2I^f(0);$$

$\tilde{\gamma}(\boldsymbol{k}) = \frac{1}{\tilde{z}}\sum_\rho e^{i\boldsymbol{k}\rho}$, $M^f = M^f_{00,01}$, $\tilde{M}^f = -M^f_{00,\rho 0}$, здесь ρ – вектор, соединяющий магнитный ион с его вторыми ближайшими соседями из той же подрешетки; $M^f_{00,01}$ и $M^f_{00,r0}$ – матричные элементы передачи возбуждений между ионами.

На основе формулы (10) было рассчитано поглощение света в случае холодной экситон-двухмагнонной полосы при учете экситонной дисперсии для антиферромагнетика с плоской квадратной решеткой (рис. 1). При вычислениях варьировались параметры, отвечающие за экситонную дисперсию: $K_1 = |M^f|\cdot\cos^2\theta$ и $K_2 = \tilde{M}^f$.

Положение экситонной линии отмечено на горизонтальной оси символом 0. Расстояние ν_m соответствует энергии магнона на границе зоны Бриллюэна. Максимум экситон-двухмагнонного поглощения света расположен на расстоянии, равном энергии двух магнонов 2_m, от экситонной полосы только в случае $K_1 = 0$ и $K_2 = 0$, когда дисперсией экситонов можно пренебречь. Если дисперсия экситонов значительна, т. е. существует сильное взаимодействие подрешеточных экситонов, то тогда форма полос может сильно деформироваться.

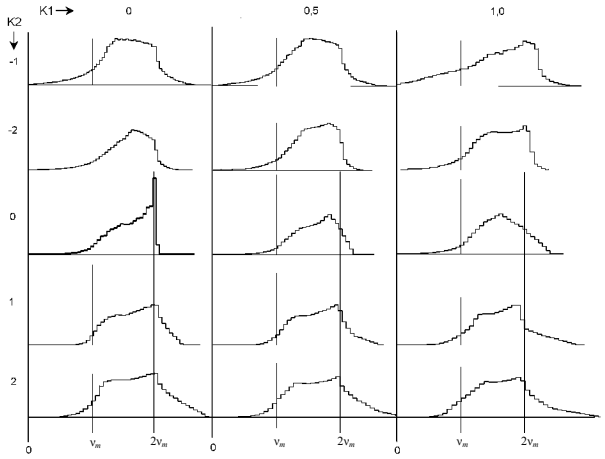


Рис. 1. Изменение формы экситон-двухмагнонной полосы (холодного спутника экситон-магнонной полосы) в зависимости от параметров экситонной дисперсии

Интересно определить форму полосы, соответствующую механизму двухмагнонного спутника экситонной полосы и описываемую формулой (11). Как и в первом случае, она запрещена в коллинеарном антиферромагнетике и может наблюдаться только в сильном внешнем магнитном поле, индуцирующем неколлинеарность магнитной структуры. Кроме этого в таком процессе поглощается термически возбужденный магнон. Поэтому такая полоса при температуре вблизи 0 К должна иметь нулевую интенсивность и появляться лишь при повышении температуры, когда начнет расти заселенность магнонных состояний. Такой полосе можно дать название «горячий магнонный спутник экситон-магнонной полосы».

Варианты расчета формы полосы поглощения света для такого процесса приведены ниже (рис. 2 и 3). Символом 0 отмечено положение экситонной линии. Следует отметить, что учет экситонной дисперсии приводит к уширению и деформации горячего спутника экситон-магнонной полосы.

Сравнение с экспериментом. Расчеты формы многомагнонных спутников экситонных полос были проведены с целью объяснения структуры и поведения полос тонкой структуры спектра поглощения света антиферромагнитного Rb_2MnCl_4 в сильном магнитном поле.

Кристаллы Rb_2MnCl_4 при комнатной температуре имеют тетрагональную структуру симметрии D_{4h}[17]. При температуре ниже $T_N = 57$ К в них устанавливается антиферромагнитный порядок с анизотропией типа легкая ось. Кристаллическая решетка характеризуется слоистой структурой. Магнитные моменты ионов Mn^{+2} расположены слоями в узлах квадратной решетки и направлены параллельно C_4 оси симметрии кристалла [7]. Обменное поле $H_E \approx 800$ кЭ. Поле спин-флоп-перехода $H_{sf} = 56$ кЭ. Внутрислоевой обмен J для Rb_2MnCl_4 и величина $\nu_m = 80$ см$^{-1}$ определены по рефрактометрическим измерениям [8].

Общий вид и дихроизм спектра поглощения света кристалла, а также поведение спектра во внешнем магнитном поле в области перехода $^6A_{1g} \rightarrow {}^4A_{1g}, {}^4E_g(^4G)$ в ионах Mn^{+2} приведены в работе [9]. Необычным в поведении спектра кристалла во внешнем магнитном поле является появление и усиление с ростом напряженности поля широких линий в спектре. Результаты расчетов, представленных на рис. 1–3, позволяют объяснить экспериментальные факты, а также сравнить наблюдаемые спектры с рассчитанными по формулам (8), (10) и (11) (рис. 4, 5).

Линия *1* на рис. 4 – фрагмент α-спектра кристалла Rb_2MnCl_4 толщиной 0,08 мм, полученный при температуре $T = 4{,}5$ К в импульсном магнитном поле $H = 230$ кЭ; линия *3* – рассчитанная форма экситон-магнонной полосы при $T = 0$ в поле $H = 230$ кЭ. Такие линии разрешены в электродипольном приближении в коллинеарном антиферромагнетике и ослабевают в магнитном поле, индуцирующем неколлинеарность магнитных подрешеток. Линия *2* – рассчитанное экситон-двухмагнонное поглощение с учетом дисперсии экситонов при $T > 0$ в магнитном поле. Эта линия появляется при включении внешнего магнитного поля и ее интенсивность нарастает с его увеличением.

Линия *1* на рис. 5 – фрагмент α-спектра кристалла Rb_2MnCl_4 толщиной 1,65 мм, полученный при температуре $T = 4{,}5$ К в импульсном магнитном поле $H = 230$ кЭ. Полосы поглощения, обозначенные как C_{M1-M} и C_{M2M}, появляются при $H > H_{sf}$ и растут по интенсивности во внешнем магнитном поле. Их появление невозможно объяснить в рамках традиционных механизмов формирования спектров магнетиков. Модель (11) хорошо описывает усиление поглощения в этой области спектра как результат трехчастичного процесса взаимодействия света с кристаллом, в котором при поглощении света возбуждается экситон и магнон и аннигилирует термически возбужденный магнон, т. е. горячего экситон-двухмагнонного процесса.

Расчет формы экситон-магнонных полос поглощения света в антиферромагнетике с низкоразмерной магнитной структурой показывает, что распределение интенсивности поглощения света в нем существенно зависит не только от распределения плотности магнонных состояний, но и от экситонной дисперсии. В результате каждый конкретный экситон-магнонный механизм формирования полос поглощения света может приводить к появлению в спектре оптического поглощения антиферромагнетика не одной, а нескольких полос. Этот факт вынуждает отказаться от традиционного подхода к идентификации таких полос, при котором считается, что максимумы

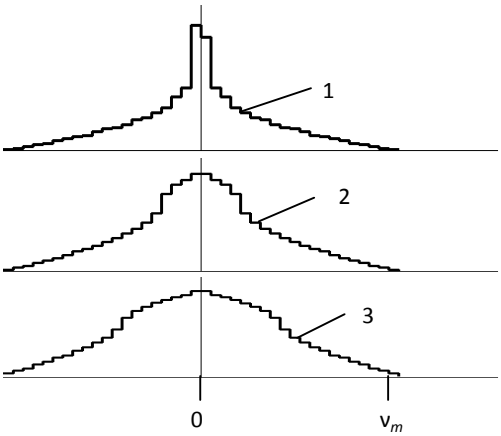


Рис. 2. Изменение формы горячего спутника экситон-магнонной полосы при $K_2 = 0$ и K_1: *1* – 0; *2* – 0,5; *3* – 1,0

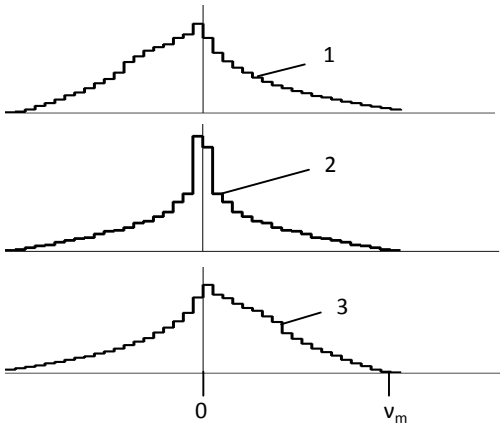


Рис. 3. Изменение формы горячего спутника экситон-магнонной полосы при $K_1 = 0$ и K_2: *1* – (–1,0); *2* – 0; *3* – (+1,0)

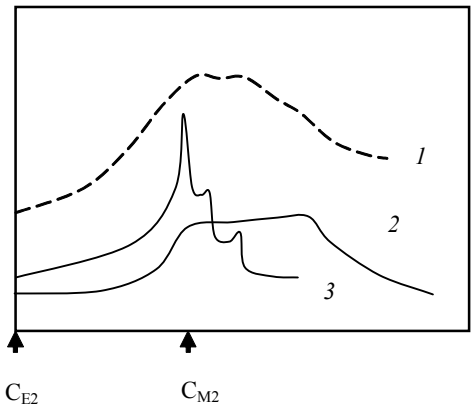


Рис. 4. Сравнение экспериментально наблюдаемого поглощения (линия *1*) с рассчитанными полосами одно- и двухмагнонных спутников экситонной полосы (линии *3* и *2* соответственно)

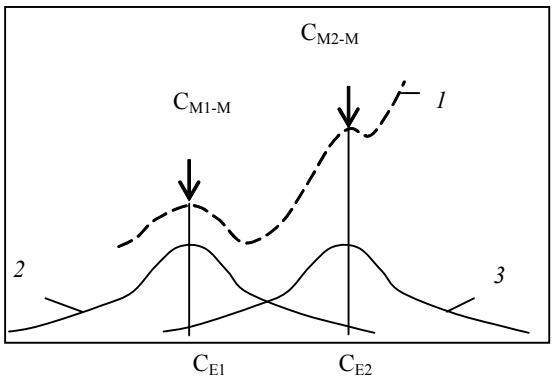


Рис. 5. Сравнение экспериментально наблюдаемого поглощения света в районе экситонных полос C_{E1} и C_{E2} (кривая *1*), с рассчитанной формой полосы поглощения горячего магнонного спутника экситон-магнонной полосы (кривые *2* и *3*)

поглощения света в экситон-магнонных процессах отстоят от положения чисто экситонной полосы на расстояния, приблизительно кратные энергии магнонов границы зоны Бриллюэна.

Библиографические ссылки

1. Горбач В. В., Пакиж М. А., Петров Э. Г. Многочастичные спин-запрещенные оптические переходы в слабоанизотропных антиферродиэлектриках // УФЖ. 1992. Т. 37, № 11. С. 1670–1682.

2. Магнитооптика и спектроскопия антиферромагнетиков / В. В. Еременко, Н. Ф. Харченко, Ю. Г. Литвиненко, В. М. Науменко. Киев : Наук. думка, 1989.

3. Попов Е. А., Овчинников С. Г. Магнонные полосы-спутники в оптическом спектре антиферромагнитного Rb_2MnCl_4 // Физика твердого тела. 2003. Т. 45, вып. 8. С. 1429–1431.

4. Горбач В. В., Петров Э. Г. Влияние неупругого экситон-магнонного взаимодействия на поглощение света в неколлинеарном антиферромагнетике // Физика твердого тела. 1990. Т. 32, № 5. С. 1418–1425.

5. Popov E. A. Peculiarities of optical absorption of magnetic dielectrics with varies magnetic order dimension // Вестник НИИ СУВПТ. 2008. Вып. 26. С. 61–66.

6. Попов Е. А. Тонкая структура оптического спектра и многочастичные возбуждения в Rb_2MnCl_4 // Изв. вузов. Физика. 2003. № 10. С. 10–13.

7. Magnetic structure and two-dimensional behavior of Rb_2MnCl_4 and Cs_2MnCl_4 / A. Epstain, E. Gurewitz, J. Makovsky, H. Shaked // Phys. Rev. 1970. Vol. B2, № 9. P. 3703–3706.

8. Попов Е. А. Оптические и магнитооптические свойства антиферромагнитных хлоридов марганца : дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Красноярск, 2004.

9. Попов Е. А. Изменение оптического поглощения 2*d*-магнетика при его разбавлении немагнитными ионами // Вестник КрасГУ. 2003. № 3. С. 75–79.

E. A. Popov

MODELLING OF EXISTON-DOUBLE-MAGNON OPNICAL EXITATIONS IN LOW-DIMENTIONAL MAGNETIC SYSTEM

In a model of noninteracting quasi-particles a shape of the exciton-two-magnon optical absorption band in collinear antiferromagnet with two-dimensional square lattice for four possible excitation mechanisms is calculated. Correlation of the results and the experiment is made.

Keywords: excitation, magnon, light absorption, antiferromagnet.

© Попов Е. А., 2010

УДК 539

А. В. Лопатин, Р. А. Удальцов

СИММЕТРИЧНАЯ ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПОЗИТНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ

Решена задача об определении критических усилий, при которых происходит сморщивание композитных несущих слоев трехслойной пластины с ортотропным заполнителем. Предложена новая модель упругого заполнителя, в которой учитываются его жесткости на сжатие и сдвиг, а также нелинейный характер затухания нормальных перемещений по толщине. С использованием энергетического метода получено дифференциальное уравнение симметричной формы потери устойчивости. Выполнен анализ влияния упругих и геометрических параметров трехслойной полосы на характер волнообразования и критическое усилие несущего слоя.

Ключевые слова: композитная пластина, потеря устойчивости, симметричный.

Одним из наиболее вероятных видов разрушения трехслойных пластин, нагруженных в плоскостях несущих слоев усилиями сжатия или сдвига, является потеря устойчивости. При расчете трехслойных пластин различают несколько форм потери устойчивости, одной из которых является сморщивание несущих слоев с образованием весьма коротких волн, расположенных симметрично относительно срединной плоскости.

Эта форма потери устойчивости называется симметричной и характерна только для трехслойных конструкций, имеющих податливый заполнитель.

Первое исследование сморщивания несущих слоев трехслойной панели было выполнено в 1940 г. [1] с использованием для заполнителя модели упругого основания Винклера. Эта работа была продолжена многочисленными исследователями, результаты работы кото-

рых обобщены и представлены в известных монографиях [2–6].

Несмотря на длительную историю, задача о сморщивании несущих слоев трехслойной пластины и в настоящее время привлекает внимание тех, кто занимается проектированием несущих конструкций [7–16]. Это в первую очередь обусловлено использованием в трехслойных пластинах композиционных материалов.

Уравнение устойчивости несущего слоя. Рассмотрим трехслойную пластину, состоящую из двух одинаковых композитных несущих слоев, между которыми расположен ортотропный заполнитель.

Отнесем срединную плоскость пластины к системе ортогональных координат xyz. Обозначим через a и b размеры пластины по осям x и y соответственно, а через h и δ – толщины несущего слоя и заполнителя.

Дифференциальное уравнение симметричной формы потери устойчивости получим, используя энергетический метод [18–19]. Потенциальная энергия трехслойной пластины U складывается из потенциальной энергии изгиба несущего слоя при сморщивании U_{facing}, потенциальной энергии деформации заполнителя U_{core} и работы усилий U_{load}, действующих в плоскости несущего слоя, т. е.

$$U = U_{\text{facing}} + U_{\text{core}} + U_{\text{load}}. \quad (1)$$

Отметим, что в рассматриваемом случае потери устойчивости потенциальная энергия (1) определяется только для половины трехслойной пластины, лежащей, например, выше срединной плоскости.

При сморщивании ортотропного несущего слоя потенциальная энергия изгиба определяется следующим выражением:

$$U_{\text{facing}} = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b \left[\begin{array}{l} D_{11}\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)^2 + 2D_{12}\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2}\dfrac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \\ +D_{22}\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)^2 + 4D_{33}\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}\right)^2 \end{array}\right] dxdy, \quad (2)$$

где w – прогиб несущего слоя, D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{33} – изгибные жесткости ортотропного несущего слоя, полученные, например, в монографии [17].

Выражение, определяющее работу усилий, действующих в плоскости несущего слоя при сморщивании, имеет вид

$$U_{\text{load}} = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b \left[\begin{array}{l} N_x^0\left(\dfrac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + \\ +2N_{xy}^0\dfrac{\partial w}{\partial x}\dfrac{\partial w}{\partial y} + N_y^0\left(\dfrac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \end{array}\right] dxdy, \quad (3)$$

где N_x^0, N_y^0 – нормальные и N_{xy}^0 – сдвигающие докритические усилия.

Для вычисления потенциальной энергии деформации заполнителя необходимо исследовать характер распространения вглубь заполнителя прогибов несущего слоя при сморщивании.

В общем случае величина U_{core} определяется следующим выражением:

$$U_{\text{core}} = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b\int_0^{\frac{\delta}{2}} \left(\begin{array}{l} \sigma_x e_x + \sigma_y e_y + \sigma_z e_z + \\ +\tau_{xy}e_{xy} + \tau_{xz}e_{xz} + \tau_{yz}e_{yz} \end{array}\right) dxdydz, \quad (4)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – нормальные напряжения, действующие в заполнителе вдоль осей x, y, z; τ_{xy}, τ_{xz}, τ_{yz} – касательные напряжения, действующие в плоскостях xy, xz, yz; e_x, e_y, e_z – нормальные деформации вдоль осей x, y, z; e_{xy}, e_{xz}, e_{yz} – деформации сдвига в плоскостях xy, xz, yz.

Напряжения и деформации в ортотропном заполнителе связаны между собой законом Гука

$$e_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{xy}\frac{\sigma_y}{E_y} - \mu_{xz}\frac{\sigma_z}{E_z}, \quad e_y = \frac{\sigma_y}{E_y} - \mu_{yx}\frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{yz}\frac{\sigma_z}{E_z}, \quad (5)$$

$$e_z = \frac{\sigma_z}{E_z} - \mu_{zx}\frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{zy}\frac{\sigma_y}{E_y}; \quad (6)$$

$$e_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}}, \quad (7)$$

$$e_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G_{xz}}, \quad e_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G_{yz}}, \quad (8)$$

где E_x, E_y, E_z – модули упругости материала заполнителя в направлениях x, y, z; G_{xy}, G_{xz}, G_{yz} – модули сдвига в плоскостях xy, xz, yz; μ_{yx}, μ_{xz}, μ_{yx}, μ_{yz}, μ_{zx}, μ_{zy} – коэффициенты Пуассона.

Нормальные и сдвиговые деформации связаны с перемещениями u_x, u_y, u_z вдоль соответствующих координатных осей следующими геометрическими соотношениями:

$$e_x = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad e_y = \frac{\partial u_y}{\partial y}, \quad e_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \quad (9)$$

$$e_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}, \quad e_{xz} = \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x}, \quad e_{yz} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y}.$$

При симметричной форме потери устойчивости трехслойной пластины в несущих слоях появляется много мелких волн. При этом, очевидно, тангенциальные перемещения отсутствуют на гребнях волн как в несущих слоях, так и в заполнителе. Поэтому с достаточной степенью достоверности можно принять, что тангенциальные перемещения отсутствуют во всем заполнителе. В этом случае

$$u_x = 0, \quad u_y = 0. \quad (10)$$

Тогда, с учетом равенств (10) из геометрических соотношений (9) следует

$$e_x = 0, \quad e_y = 0, \quad e_{xy} = 0; \quad (11)$$

$$e_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}, \quad e_{xz} = \frac{\partial u_z}{\partial x}, \quad e_{yz} = \frac{\partial u_z}{\partial y}. \quad (12)$$

Подставляя (11) в (4), получим

$$U_{\text{core}} = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b\int_0^{\frac{\delta}{2}} \left(\sigma_z e_z + \tau_{xz}e_{xz} + \tau_{yz}e_{yz}\right) dxdydz. \quad (13)$$

Выразим напряжения, входящие в формулу (13), через деформации. Трансверсальные напряжения найдем из физических соотношений (8), т. е.

$$\tau_{xz} = G_{xz}e_{xz}, \quad \tau_{yz} = G_{yz}e_{yz}. \quad (14)$$

Для определения σ_z воспользуемся формулами (5) и (6). Перепишем соотношения (5), учитывая равенства (11), в следующем виде:

$$\frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{xy}\frac{\sigma_y}{E_y} = \mu_{xz}\frac{\sigma_z}{E_z} \quad -\mu_{yx}\frac{\sigma_x}{E_x} + \frac{\sigma_y}{E_y} = \mu_{yz}\frac{\sigma_z}{E_z}. \quad (15)$$

Используя уравнения (15), выразим напряжения σ_x и σ_y через напряжение σ_z и затем полученный результат подставим в равенство (6). После преобразований будем иметь

$$\sigma_z = \overline{E_z}\, e_z. \qquad (16)$$

Здесь

$$\overline{E_z} = E_z\left(1 - \frac{\mu_{zx}\left(\mu_{xz} + \mu_{yz}\mu_{xy}\right) + \mu_{zy}\left(\mu_{yz} + \mu_{yx}\mu_{xz}\right)}{1 - \mu_{yx}\mu_{xy}}\right)^{-1}. \qquad (17)$$

Это приведенный модуль упругости материала заполнителя в направлении оси z.

Подставляя равенства (14) и (16) в уравнение (13), получим

$$U_{\text{core}} = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b\int_0^{\frac{\delta}{2}}\left(\overline{E_z}e_z^2 + G_{xz}e_{xz}^2 + G_{yz}e_{yz}^2\right)dxdydz. \qquad (18)$$

С учетом (12) выражение для потенциальной энергии деформации заполнителя (18) примет вид

$$U_{\text{core}} = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b\int_0^{\frac{\delta}{2}}\left[\begin{array}{l}\overline{E_z}\left(\dfrac{\partial u_z}{\partial z}\right)^2 + G_{xz}\left(\dfrac{\partial u_z}{\partial x}\right)^2 + \\ +G_{yz}\left(\dfrac{\partial u_z}{\partial y}\right)^2\end{array}\right]dxdydz. \qquad (19)$$

Как видно из формулы (19), потенциальная энергия деформации заполнителя зависит от нормального перемещения u_z. В рассматриваемой задаче функция u_z должна принимать нулевые значения на срединной плоскости пластины и совпадать с прогибом несущего слоя на границе раздела, т. е.

$$u_z = \begin{cases} w(x,y), & z = \delta/2 \\ 0, & z = 0 \end{cases} \qquad (20)$$

Представим перемещение u_z в следующем виде:

$$u_z = f(z)\,w(x,y), \qquad (21)$$

где $f(z)$ задает вид распределения перемещений по толщине заполнителя. Из (20) и (21) следует, что $f(z)$ должна удовлетворять следующим условиям:

$$f(z) = \begin{cases} 1, & z = \delta/2 \\ 0, & z = 0 \end{cases} \qquad (22)$$

Зададим $f(z)$ в виде

$$f(z) = \left(2\frac{z}{\delta}\right)^{\xi}. \qquad (23)$$

Здесь параметр ξ характеризует скорость затухания нормальных перемещений по толщине заполнителя. В дальнейшем параметр ξ будет подбираться из условия минимума усилий, сжимающих несущий слой.

Подставим уравнения (21) и (23) в уравнение (18) и выполним интегрирование по z. В результате получим

$$U_{\text{core}} = \frac{1}{2}\int_0^a\int_0^b\left[R_z w^2 + K_x\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + K_y\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2\right]dxdy. \qquad (24)$$

Здесь

$$R_z = \overline{E_z}\,\frac{2}{\delta}\varphi(\xi),\quad K_x = G_{xz}\frac{\delta}{2}\theta(\xi),\quad K_y = G_{yz}\frac{\delta}{2}\theta(\xi), \qquad (25)$$

где

$$\varphi(\xi) = \frac{\xi^2}{2\xi - 1},\quad \theta(\xi) = \frac{1}{2\xi + 1}. \qquad (26)$$

Величины R_z, K_x и K_y являются жесткостными параметрами заполнителя.

Выражение (24) определяет потенциальную энергию деформации заполнителя в соответствии с моделью, в основу которой положена гипотеза об отсутствии в заполнителе горизонтальных перемещений u_x и u_y. Складывая уравнения (2), (3) и (24), представим потенциальную энергию трехслойной пластины в следующем виде:

$$U = \int_0^a\int_0^b \Phi\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}, \frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial w}{\partial y}, w\right)dxdy \qquad (27)$$

где

$$\Phi = \frac{1}{2}\left[D_{11}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)^2 + 2D_{12}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_{22}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)^2 + \right.$$
$$+4D_{33}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}\right)^2 + R_z w^2 + K_x\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + K_y\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 +$$
$$\left. +N_x^0\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 + 2N_{xy}^0\frac{\partial w}{\partial x}\frac{\partial w}{\partial y} + N_y^0\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2\right]. \qquad (28)$$

В положении равновесия потенциальная энергия трехслойной пластины имеет минимум, поэтому прогиб несущего слоя должен удовлетворять следующему дифференциальному уравнению Эйлера:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}\frac{\partial\Phi}{\partial\left(\partial^2 w/\partial x^2\right)} + \frac{\partial^2}{\partial x\partial y}\times$$
$$\times\frac{\partial\Phi}{\partial\left(\partial^2 w/\partial x\partial y\right)} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\frac{\partial\Phi}{\partial\left(\partial^2 w/\partial y^2\right)} -$$
$$-\frac{\partial}{\partial x}\frac{\partial\Phi}{\partial\left(\partial w/\partial x\right)} - \frac{\partial}{\partial y}\frac{\partial\Phi}{\partial\left(\partial w/\partial y\right)} + \frac{\partial\Phi}{\partial W} = 0. \qquad (29)$$

Этому уравнению должна удовлетворять функции $w(x,y)$, реализующая экстремум функционала (27). Подставляя (28) в (29), получим

$$D_{11}\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{33})\frac{\partial^4 w}{\partial x^2\partial y^2} + D_{22}\frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - K_x\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} -$$
$$-K_y\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + R_z w - N_x^0\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - 2N_{xy}^0\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y} - N_y^0\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0. \qquad (30)$$

Уравнение (30) представляет собой основное дифференциальное уравнение, описывающее симметричную форму потери устойчивости трехслойной пластины, что сопровождается сморщиванием композитных несущих слоев.

Рассмотрим далее пример по определению критического усилия сжатого несущего слоя трехслойной полосы. Этот пример позволит оценить влияние упругих и геометрических параметров на характер волнообразования и величину критических нагрузок.

Цилиндрическое сморщивание несущих слоев трехслойной полосы. Рассмотрим трехслойную полосу, два противоположных края которой свободны, а по двум другим несущие слои нагружены сжимающими погонными усилиями N.

Очевидно, что сморщивание несущих слоев будет происходить только в направлении оси x. Уравнение устойчивости полосы можно получить из общего уравнения (30), если положить в последнем $w = w(x)$, $N_x^0 = -N$, $N_{xy}^0 = 0$, $N_y^0 = 0$.

Тогда из (30) будем иметь

$$D_{11}\frac{d^4w}{dx^4} - K_x\frac{d^2w}{dx^2} + R_z w + N\frac{d^2w}{dx^2} = 0. \quad (31)$$

Для удобства анализа приведем уравнение (31) к безразмерному виду. Заменим координату x на безразмерную координату α по следующей формуле:

$$\alpha = x/l, \quad (32)$$

где l – длина полосы в направлении оси x. С учетом равенства (32) уравнение (31) примет вид

$$\frac{d^4w}{d\alpha^4} - r\frac{d^2w}{d\alpha^2} + tw + \eta\frac{d^2w}{d\alpha^2} = 0, \quad (33)$$

где η – безразмерный коэффициент устойчивости:

$$\eta = Nl^2/D_{11}. \quad (34)$$

Безразмерные параметры r и t, входящие в уравнение (33), определяется следующими выражениями:

$$r = K_x l^2/D_{11},\ t = R_z l^4/D_{11}. \quad (35)$$

Пусть несущий слой выполнен из однородного ортотропного материала. Если пренебречь во всей конструкции эффектом Пуассона в направлении оси y, то изгибная жесткость несущего слоя и жесткости заполнителя могут быть представлены следующими равенствами:

$$D_{11} = E_x h^3/12,\ K_x = G_{xz}\delta/2\theta(\xi),\ R_z = E_z 2/\delta\varphi(\xi), \quad (36)$$

где E_x – модуль упругости материала несущего слоя в направлении оси x.

Подставляя (36) в (35), будем иметь

$$r = p\theta(\xi),\ t = s\varphi(\xi). \quad (37)$$

Здесь

$$p = 6G_{xz}/E_x \cdot l^2/\delta^2 \cdot \delta^3/h^3,$$

$$s = 24E_z/E_x \cdot l^4/\delta^4 \cdot \delta^3/h^3. \quad (38)$$

Примем, что на краях полосы $\alpha = 0$ и $\alpha = 1$ выполняются условия шарнирного опирания. Тогда решение уравнения (33) будем искать в форме

$$w = w_m \sin\lambda_m\alpha, \quad (39)$$

где m – число полуволн вдоль координаты α; $\lambda_m = m\pi$; w_m – неизвестное число.

Подставляя (39) в однородное дифференциальное уравнение (33), найдем величину η, при которой это уравнение будет иметь нетривиальное решение, т. е.

$$\eta = \lambda_m^2 + r + t/\lambda_m^2. \quad (40)$$

Учитывая равенства (37), можно утверждать, что величина коэффициента устойчивости зависит от параметра волнообразования λ_m^2 и параметра ξ, определяющего скорость затухания нормальных перемещений по толщине заполнителя. Рассматривая η как функцию λ_m^2 и ξ, запишем условие ее минимума в следующем виде:

$$\partial\eta/\partial(\lambda_m^2) = 0 \quad (41)$$

и

$$\partial\eta/\partial\xi = 0. \quad (42)$$

Подставляя (40) в (41), найдем

$$\lambda_m^2 = \sqrt{t}. \quad (43)$$

Учитывая полученный результат, преобразуем равенство (40) к виду

$$\eta = 2\sqrt{t} + r. \quad (44)$$

Подставляя (37) в (44), будем иметь

$$\eta = 2\sqrt{s\varphi(\xi)} + p\theta(\xi). \quad (45)$$

Теперь величина коэффициента устойчивости при известных s и p зависит только от параметра ξ. Подставляя (45) в (42) и учитывая равенства (26), получим для определения ξ следующее нелинейное уравнение:

$$\sqrt{2\xi - 1}\,(\xi - 1)\left(\frac{2\xi + 1}{2\xi - 1}\right)^2 - q = 0. \quad (46)$$

Здесь

$$q = p/\sqrt{s}. \quad (47)$$

Подставляя (38) в (47), будем иметь

$$q = \sqrt{\frac{3}{2}}\,\frac{G_{xz}/E_x}{\sqrt{E_z/E_x}}\,\frac{\delta}{h}\sqrt{\frac{\delta}{h}}. \quad (48)$$

Обозначим корень уравнения (46) через ξ_{cr}. Подставляя $\xi = \xi_{cr}$ в (45), получим выражение, определяющее критический коэффициент устойчивости, т. е.

$$\eta_{cr} = 2\sqrt{s\varphi(\xi_{cr})} + p\theta(\xi_{cr}). \quad (49)$$

Здесь

$$\varphi(\xi_{cr}) = \xi_{cr}^2/2\xi_{cr} - 1,\ \theta(\xi_{cr}) = 1/2\xi_{cr} + 1. \quad (50)$$

Учитывая равенства (38), представим формулу (49) в следующем виде:

$$\eta_{cr} = l^2/\delta^2\psi_{cr}. \quad (51)$$

Здесь

$$\psi_{cr} = 2\delta/h \cdot \left(2\sqrt{6E_z/E_x \cdot \delta/h \cdot \varphi(\xi_{cr})} + 3G_{xz}/E_x \cdot \delta^2/h^2\,\theta(\xi_{cr})\right). \quad (52)$$

Определим далее критическое усилие при котором происходит сморщивание несущего слоя. Из (34) найдем

$$N_{cr} = \eta_{cr}D_{11}/l^2. \quad (53)$$

Для критического усилия справедлива следующая формула:

$$N_{cr} = \sigma_{cr}h, \quad (54)$$

где σ_{cr} – критическое напряжение.

Подставляя (54) и (51) в (53) и учитывая первое из равенств (36), будем иметь

$$\sigma_{cr} = E_x\varepsilon_{cr}. \quad (55)$$

Здесь

$$\varepsilon_{cr} = \psi_{cr}/\left(12\delta^2/h^2\right). \quad (56)$$

Будем в дальнейшем называть ε_{cr} критической деформацией.

Учитывая выражение (52), преобразуем уравнение (56) к виду

$$\varepsilon_{cr} = \sqrt{\frac{2}{3}\,\frac{E_z/E_x}{\delta/h}\,\varphi(\xi_{cr})} + \frac{1}{2}G_{xz}/E_x \cdot \delta/h \cdot \theta(\xi_{cr}). \quad (57)$$

Таким образом, критическое напряжение, при котором происходит потеря устойчивости несущего слоя трехслойной полосы, может быть найдено из равенств (55) и (57). Величина σ_{cr} при заданном модуле упругости E_x определяется величиной критической деформации ε_{cr}. Из формул (46), (48) и (57) следует, что ε_{cr} зависит от трех

параметров: E_z / E_x, G_{xz} / E_x и δ / h. Отметим, что критическая деформация, а значит, критическое напряжение, не зависят от l / δ.

Покажем, что с ростом δ / h критическая деформация ε_{cr} стремится к некоторому пределу, величина которого зависит от отношений модулей упругости. Для этого вернемся к формуле (45), определяющей коэффициент устойчивости η после его минимизации по λ_m^2. Величина η при известных s и p зависит в этой формуле только от параметра ξ. Получим формулу, определяющую критический коэффициент устойчивости для трехслойной полосы с толстым слоем заполнителя, т. е. с большим отношением δ / h. В этом случае следует принять $\xi \to \infty$. Тогда из равенств (26) будет иметь

$$\varphi(\xi) = \xi / 2, \quad \theta(\xi) = 1 / 2\xi. \tag{58}$$

Подставляя (58) в (45), получим

$$\eta = \sqrt{2s\xi} + p / 2\xi. \tag{59}$$

Реализуя условие (42), найдем

$$\xi_{cr} = \sqrt[3]{p^2 / 2s}. \tag{60}$$

Тогда

$$\eta_{cr} = \frac{3}{\sqrt[3]{4}} \sqrt[3]{ps}. \tag{61}$$

Подставляя (38) в (61), будем иметь

$$\eta_{cr} = l^2 / \delta^2 \ \psi_{cr}. \tag{62}$$

Здесь

$$\psi_{cr} = \frac{6}{\sqrt[3]{4}} \delta^2 / h^2 \ \sqrt[3]{18 G_{xz} / E_x \cdot E_z / E_x}. \tag{63}$$

Учитывая равенства (63), из (56) получим

$$\varepsilon_{cr} = \sqrt[3]{\frac{9}{16}} \ \sqrt[3]{G_{xz} / E_x \cdot E_z / E_x}. \tag{64}$$

Уравнение (64) определяет предельное значение критической деформации, величина которой зависит только от отношений модулей упругости. Подставляя (64) в (55), получим для определения критического напряжения следующее уравнение:

$$\sigma_{cr} = 0{,}82548 \ \sqrt[3]{E_x G_{xz} E_z}. \tag{65}$$

Отметим, что равенство (65) с тем или иным численным коэффициентом встречается как в известных монографиях [2–6], так и в современных исследованиях [11–16].

Из вышесказанного следует, что определение критических напряжений необходимо выполнять с учетом величины отношения δ / h. При $\delta / h > 30$ можно воспользоваться формулой (65). Если отношение $\delta / h < 30$, то более точное значение σ_{cr} дадут формулы (55) и (57).

Найдем теперь число полуволн, образующихся при сморщивании несущего слоя. Учитывая, что $\lambda_m = m\pi$, из (43) будем иметь

$$m = \sqrt[4]{t} / \pi. \tag{66}$$

Подставим второе из равенств (37) при $\xi = \xi_{cr}$ в уравнение (66). Тогда

$$m_{cr} = \sqrt[4]{s\varphi(\xi_{cr})} / \pi. \tag{67}$$

Выполним далее анализ влияния упругих и геометрических параметров трехслойной полосы на число полуволн m_{cr}. Подставляя s из равенств (38) в формулу (67), будем иметь

$$m_{cr} = \frac{l}{\delta} \gamma_{cr}. \tag{68}$$

Здесь

$$\gamma_{cr} = 1 / \pi \sqrt[4]{24 E_z / E_x \cdot \delta^3 / h^3 \cdot \varphi(\xi_{cr})}. \tag{69}$$

Как видно из уравнения (68), величина m_{cr} прямо пропорциональна l / δ.

Из анализа полученных данных следует, что величина γ_{cr}, а значит, и m_{cr}, зависит от δ / h практически линейно как для податливого заполнителя, так и для жесткого заполнителя.

Библиографические ссылки

1. Gough C. S., Elam C. F., de Bruyne N. A. The Stabilization of a Thin Sheet by a Continuous Support Medium // J. of the Royal Aeronautical Soc. 1940. № 44. P. 12–43.
2. Hoff N. J., Mautner S. E. The Buckling of Sandwich-type Panels // J. of the Aeronautical Sciences. 1945. № 12. P. 285–297.
3. Plantema F. J. Sandwich Construction. N. Y. : Wiley & Sons, Inc.,. 1966.
4. Allen H. C. Analysis and Design of Structural Sandwich Panels. Oxford : Pergamon Press, 1969.
5. Zenkert D. An Introduction to Sandwich Construction. London : Chameleon Press Ltd, 1995.
6. The Handbook of Sandwich Construction / D. Zenkert (ed.). London : EMAS Publishing, 1997.
7. Vinson J. R. The Behavior of Sandwich Structures of Isotropic and Composite Materials. Lancaster : Technomic, 1999.
8. Hadi B. K., Matthews F. L. Development of Benson-Mayers Theory on the Wrinkling of Anisotropic Sandwich Panels // Composite Structures. 2000. № 49. P. 425–434.
9. Benson A. S., Mayers J. General Instability and Face Wrinkling of Sandwich Plates – Unified Theory and Applications // AIAA J. 1967. № 5(4) . P. 729–739.
10. Hadi B. K. Wrinkling of Sandwich Column: Comparison between Finite Element Analysis and Analytical Solutions // Composite Structures. 2001. № 53. P. 477–482.
11. Vonach W. K., Rammerstorfer F. G. A General Approach to the Wrinkling Instability of Sandwich Plates // Structural Engineering and Mechanics. 2001. № 12. P. 363–376.
12. Birman V., Bert C. W. Wrinkling of Composite-facing Sandwich Panels under Biaxial Loading // J. of Sandwich Structures and Materials. 2004. № 6. P. 217–237.
13. Leotoing L., Drapier S., Vautrin A. Using New Closed-form Solutions to Set up Design Rules and Numerical Investigations for Global and Local Buckling of Sandwich Beams // J. of Sandwich Structures and Materials. 2004. № 6. P. 263–289.
14. Fagerberg L., Zenkert D. Imperfection-induced Wrinkling Material Failure in Sandwich Panels // J. of Sandwich Structures and Materials. 2005. № 7. P. 195–219.
15. Fagerberg L., Zenkert D. Effects of Anisotropy and Loading on Wrinkling of Sandwich Panels // J. of Sandwich Structures and Materials. 2005. № 7. P. 177–194.
16. Grenestedt J. L., Danielsson M. Elastic – plastic Wrinkling of Sandwich Panels with Layered Cores // J. of Applied Mechanics. 2005. № 72. P. 276–281.

17. Meyer-Piening H.-R. Sandwich Plates: Stresses, Deflection, Buckling and Wrinkling Loads – A Case Study // J. of Sandwich Structures and Materials. 2006. № 8. P. 381–394.

18. Aiello M. A., Ombres L. Buckling Load Design of Sandwich Panels Made with Hybrid Laminated Faces and Transversely Flexible Core // J. of Sandwich Structures and Materials. 2007. № 9. P. 467–485.

19. Hayman B., Bergreen C., Pettersson R. The Effect of Face Sheet Wrinkle Defects on the Strength of FRP Sandwich Structures // J. of Sandwich Structures and Materials. 2007. № 9. P. 377–404.

A. V. Lopatin, R. A. Udaltsov

SYMMETRIC BUCKLING OF THE COMPOSIT THREE-LAYER PLATE

The definition problem of critical forces, which provokes wrinkling of composite base layers of triplex sandwich plate with orthotropic core is solved. A new model of elastic core is offered. It considers elastic core rigidity on compression and shear, and also nonlinear character of decaying of normal displacement throughout the thickness.

Keywords: composite plate, buckling, symmetrical.

© Лопатин А. В., Удальцов Р. А., 2010

УДК 546.87:546.666-31

Н. С. Симонова, А. Ю. Семушева, В. И. Аникина, В. Ю. Таскин

ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА КРИСТАЛЛОВ ДВОЙНОГО НИТРАТА ВИСМУТА–ЭРБИЯ

Приведены результаты исследования процессов затвердевания двойного нитрата висмута–эрбия. Определена скорость роста кристаллов в продольном и поперечном направлениях, вид и механизм формирования кристаллов солей в зависимости от концентрации раствора и температуры окружающей среды. На основании полученных данных сделано предположение о возможности контроля процесса кристаллизации в исследуемой системе, что является необходимым условием для создания комбинированных материалов с заданными свойствами конструкционно-функционального типа – мезопористых мезоструктурированных силикатов.

Ключевые слова: двойной нитрат висмута–эрбия, кристаллизация, скорость роста.

Вследствие хорошо развитой поверхности и регулярного распределения пор, мезопористые кварцевые материалы (MCM-41) широко используются как матрица для погружения полимеров, металлов и полупроводниковых наночастиц, размеры которых определяют оптические, электрические, и механические свойства полученного материала [1]. Пропитывая мезопористые силикаты висмутсодержащими растворами с последующим термолизом, получали материалы с ионопроводящими свойствами [2]. Однако процесс кристаллизации солей в порах MCM-41 являлся стихийным и неконтролируемым.

Целью настоящего исследования было определение кинетики, вида и механизма роста кристаллов солей в зависимости от концентрации раствора, чтобы сделать процесс кристаллизации исследуемых систем управляемым.

Объектом исследования выбрали систему Bi_2O_3–Er_2O_3, обеспечивающую эффективный ионный перенос и высокую кислородную проводимость, поскольку в ней реализуется структура типа d-Bi_2O_3. Полученный твердый раствор по литературным данным стабилен в широком диапазоне температур по сравнению с чистым Bi_2O_3 [3].

Методы исследования. Изучение процессов кристаллизации солей проводили с помощью микроскопов МБС-9, Stemi 2000-C, Observer D1m.

Дифференциальный термический анализ проводили с использованием дериватографа фирмы Netche Q-1500 в атмосфере воздуха при скорости нагревания 20 К/мин.

Рентгенофазовый анализ (РФА) исходных веществ и спеченных смесей осуществляли на дифрактометре фирмы Shimadzu XRD-6000. Рентгенограммы записывали в широком интервале углов дифракции от 5 до 80° с медным анодом и никелевым фильтром. Точность измерения углов составляла ± 0,2°.

Расчет линейной скорости роста кристаллов. Каплю исследуемого раствора с помощью пипетки помещали на чашку Петри под микроскоп МБС-9, на окуляре которого крепили настольную видеокамеру, соединенную с компьютером. Через некоторое время начинался процесс затвердевания. Запись видеоизображения и подсчет скорости роста проводили по измерениям на экране монитора растущих кристаллов.

Математическая обработка полученных результатов. Для выявления степени связи между исследуемыми величинами провели корреляционный и регрессионный анализ. По результатам выборочных данных построили функции регрессии для установления формы зависимости между переменными.

Например, для роста кристалла $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$, полученного совместным растворением оксидов, с концентрацией раствора 0,68 г/мл в продольном направлении, рассчитывая коэффициенты для параболического тренда по методу наименьших квадратов, получили, что $y = -0{,}000\,8x^2 + 0{,}237\,3x + 4{,}125\,8$. Для параболы величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0{,}971$, т. е. модель хорошо описывает явление. Коэффициент при x^2 близок к нулю, это означает, что полученная парабола не слишком отличается от прямой линии.

Все приведенные выше статистические коэффициенты рассчитывались с помощью программы Excel.

Получение растворов солей. Для получения двойного нитрата висмута–эрбия, обеспечивающего максимальные ионопроводящие свойства, растворяли в мольном соотношении $0{,}8Bi_2O_3$ к $0{,}2Er_2O_3$ в 7 М HNO_3 при перемешивании и нагревании на электрической плите.

При термообработке образуется оксид $Bi_8Er_2O_{15}$, обладающий ионопроводящими свойствами.

Результаты и их обсуждение. Проведение опытов показало, что кристаллизация нитратов зависит от концентрации раствора и наличия примесей.

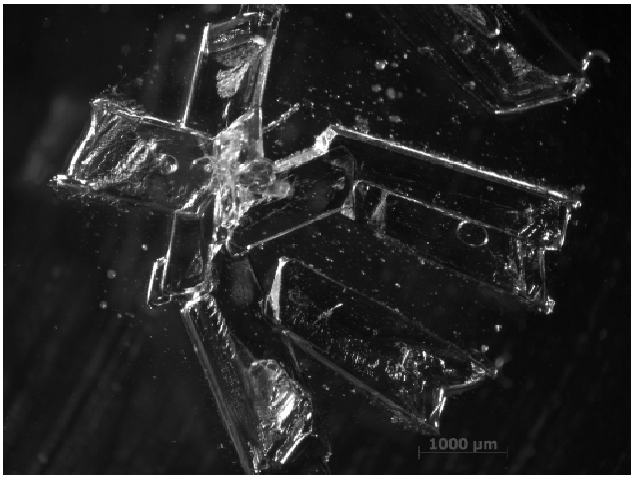
Кристаллизацию проводили для растворов концентрацией 0,68; 0,60; 0,55; 0,45 и 0,40 г/мл. Пересыщение создавали за счёт увеличения концентрации растворённого вещества испарением растворителя до значений, превышающих равновесное. Процесс осуществляли при постоянной температуре. Испарение растворителя происходило «самопроизвольно» при комнатной температуре и за счет подогрева на водяной бане при повышенных температурах.

При выращивании кристаллов испарение растворителя сопровождалось обогащением раствора кислородом, соответственно изменялась его концентрация в кристалле. Интенсивнее испарялась жидкость по краю капли, поэтому в этой зоне и начинался процесс образования зародышевых центров. Так как жидкость обладала невысокой вязкостью, кристаллы в ней могли свободно перемещаться и под действием сил поверхностного натяжения в капле первые образовавшиеся кристаллы начинали стягиваться к центру.

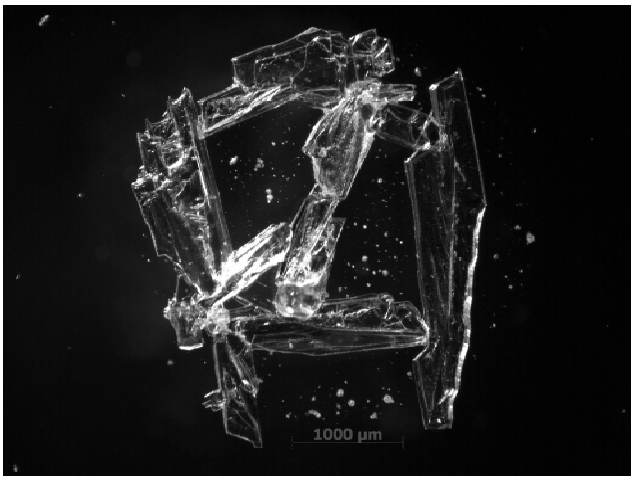
В освободившейся по краю зоне некоторое время (инкубационный период) не начиналась новая волна массового зарождения кристаллов. Очевидно, это связано с тем, что скорость роста кристаллов невысока и быстрое испарение растворителя приводило к повышению степени пересыщения жидкости в объеме капли. Процессы диффузионного перераспределения растворенного вещества в жидкости не успевали пройти, поэтому по краям капля обеднялась по содержанию кристаллизующегося компонента. Время, когда выделение новых зародышей затухало, было необходимо для того, чтобы в капле прошли диффузионные процессы и концентрация раствора выравнялась по объему.

В процессе кристаллизации солей различных концентраций наблюдали образование вытянутых призматических прозрачных кристаллов (рис. 1), причем в одном направлении – – продольном – кристаллы гораздо длиннее, чем в поперечном (рис. 1, *а*).

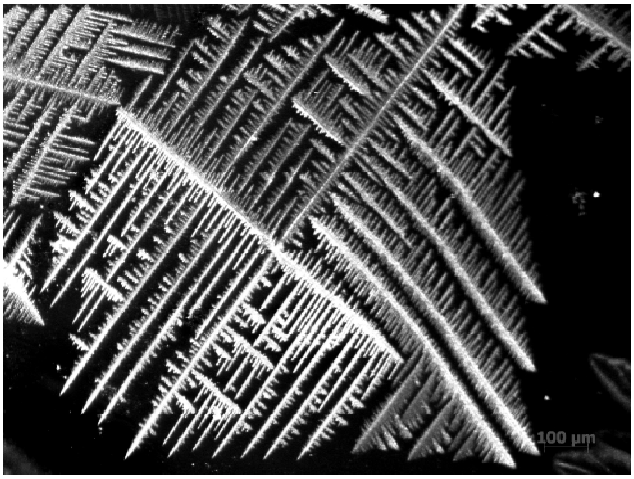
Количество зародышевых центров увеличивалось, из них образовывались новые сростки кристаллов до соприкосновения друг с другом. Исходя из полученных результатов можно говорить о послойном тангенциальном механизме роста кристаллов нитрата $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$. На рисунке видны кристаллы правильной призматической огранки с образованием слоёв у вершин и рёбер, что обычно считается признаком роста по механизму двумерного зародышеобразования (рис. 1, *б*).



а



б



в

Рис. 1. Кристаллы двойного нитрата $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$ из раствора концентрации 0,68 г/мл (*а*), 0,60 г/мл (*б*), полученные при нарушении технологии (*в*)

Выявили в результате экспериментов, что при нарушении технологии синтеза структура кристаллов систе-

мы $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$ выглядела совершенно иначе, чем на представленных ранее рисунках. Полученные кристаллы имели форму дендритов (рис. 1, *в*). Это свидетельствовало о том, что сформировался твёрдый раствор на основе двойного оксида висмута–эрбия, имеющий различный состав в ветвях дендритов и между ними.

Определение габитуса кристаллов при их росте позволило выявить закономерности их затвердевания (рис. 2).

При проведении экспериментов в системе $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$, полученной совместным растворением оксидов Bi_2O_3 и Er_2O_3 в азотной кислоте, было установлено, что максимальная скорость образования кристаллов в продольном и поперечном направлениях достигается при концентрациях 0,68 и 0,60 г/мл, соответствующие данные представлены в таблице.

Данные, представленные на рис. 2 и в таблице, свидетельствуют, что скорость роста кристаллов с течением времени затухает.

Кинетика затвердевания капли нитрата $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$ концентрации 0,68 г/мл и 0,60 г/мл показана на рис. 3.

С применением метода математической статистики для кристалла нитрата $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$, полученного совместным растворением оксидов, с концентрацией раствора 0,68 и 0,60 г/мл были иследованы данные роста кристаллов в продольном направлении.

При кристаллизации двойных нитратов из раствора концентрации 0,40 г/мл и меньшей наблюдали отсутствие кристаллов, фиксировали появление плёнки. Это можно объяснить недостатком активных кристаллизационных центров при малом пресыщении раствора и значительной вязкостью вещества.

Данные дифференциального термического анализа показали, что фазообразование в системе $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$ начинается при температуре ~763 К. Рентгенограмма образца Bi_2O_3–Er_2O_3 после отжига при 873 К приведена на рис. 4.

Из приведенной рентгенограммы следует, что образуется 100%-я ионопроводящая фаза $Bi_8Er_2O_{15}$, следовательно, состав для получения ТОЭ, образовавшегося при температуре отжига, выбрали корректно.

Расчеты статистических функций показали линейную зависимость размеров кристалла от времени роста в исследуемом интервале температур, и выявили, что с точки зрения математической статистики, полученные экспери-

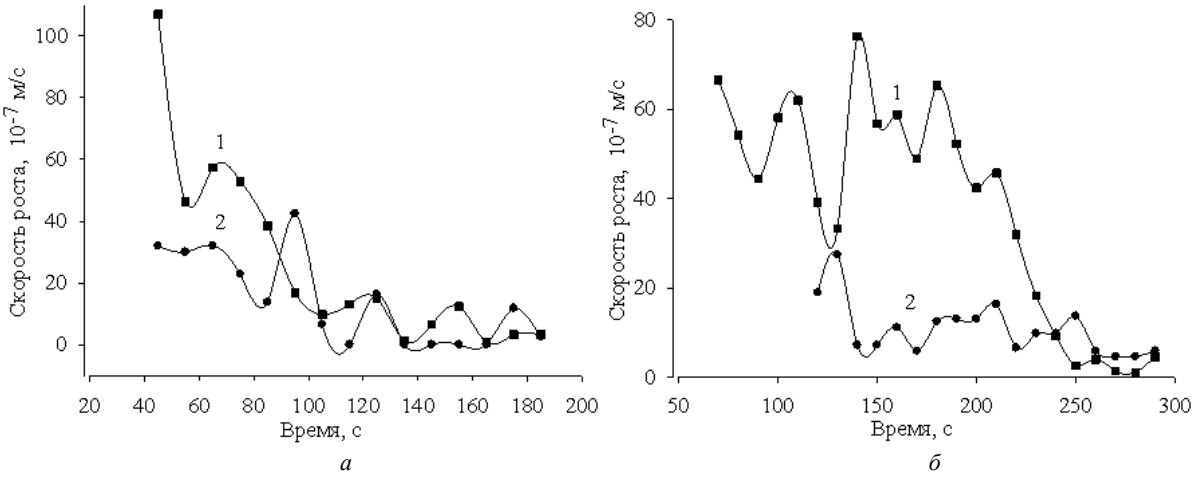


Рис. 2. Изменение скорости роста кристалла двойного нитрата $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$ из раствора концентрации 0, 68 г/мл (*а*), 0,60 г/мл (*б*) со временем: *1* – продольное направление роста кристалла; *2* – поперечное направление роста кристалла

Данные для расчета скорости роста кристалла двойного нитрата $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$, полученного совместным растворением оксидов, с концентрацией раствора 0,68 г/мл

№ п/п	Время, с	Размер на экране, мм		Скорость роста,·10^{-7} м/с	
		Продольное направление	Поперечное направление	Продольное направление	Поперечное направление
1	35	10,22	1,00	–	–
2	45	13,50	1,98	107,02	31,97
3	55	14,92	2,90	46,33	30,02
4	65	16,68	3,88	57,42	31,97
5	75	18,3	4,58	52,86	22,84
6	85	19,48	5,00	38,49	13,70
7	95	20,00	6,30	16,96	42,41
8	105	20,30	6,50	9,78	6,53
9	115	20,70	6,50	13,05	0
10	125	21,16	7,00	15,01	16,31
11	135	21,20	7,00	1,31	0
12	145	21,40	7,00	6,53	0
13	155	21,78	7,00	12,39	0
14	165	21,80	7,00	0,65	0
15	175	21,90	7,36	3,26	11,75
16	185	22,00	7,44	3,26	2,61

ментальные данные в результате кристаллизации двойных нитратов составляют адекватную модель для проведения дальнейших физико-химических исследований.

Данные результаты по влиянию концентрации на скорость затвердевания двойного нитрата висмута–эрбия могут быть использованы при разработке технологии получения мезопористых мезоструктурированных силикатов с заданными свойствами.

Библиографические ссылки

1. Ciesla U. Ordered mesoporous materials // Micropor. Mesopor. Mater. 1999. Vol. 27. P. 131–149.

2. Савченко Н. С., Самойло А. С., Парфенов В. А. Синтез висмутсодержащих ионопроводящих композитных систем на основе мезоструктурированных мезопористых силикатов типа МСМ-41 // Вестн. Краснояр. гос. ун-та. 2006. № 2. С. 102–104.

3. Sammes N. M. Bismuth Based Oxide Electrolytes – Structure and Ionic Conductivity // J. of European Ceramic Society. 1999. Vol. 19. P. 1801–1826.

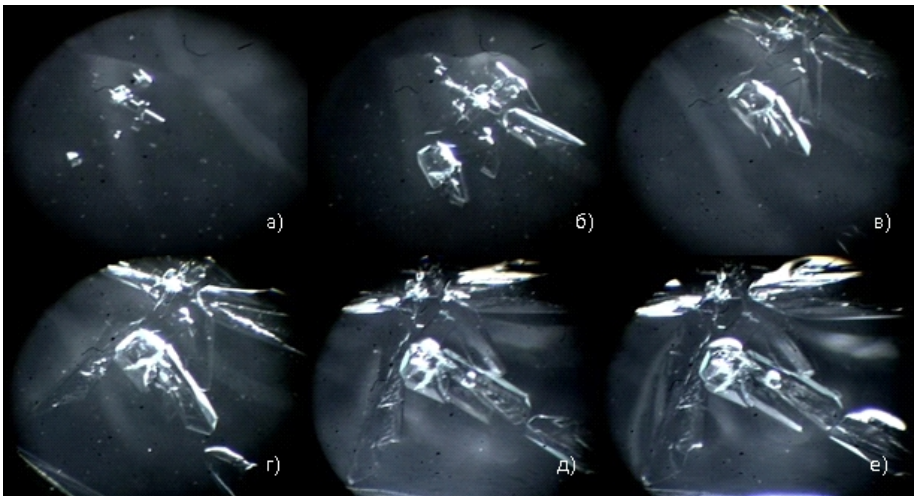


Рис. 3. Кинетика кристаллизации капли двойного нитрата $Bi(NO_3)_3$–$Er(NO_3)_3$ из раствора концентрации 0,60 г/мл: *а* – τ = 45 с; *б* – τ = 115 с; *в* – τ = 160 с; *г* – τ = 240 с; *д* – τ = 310 с; *е* – τ = 450 с

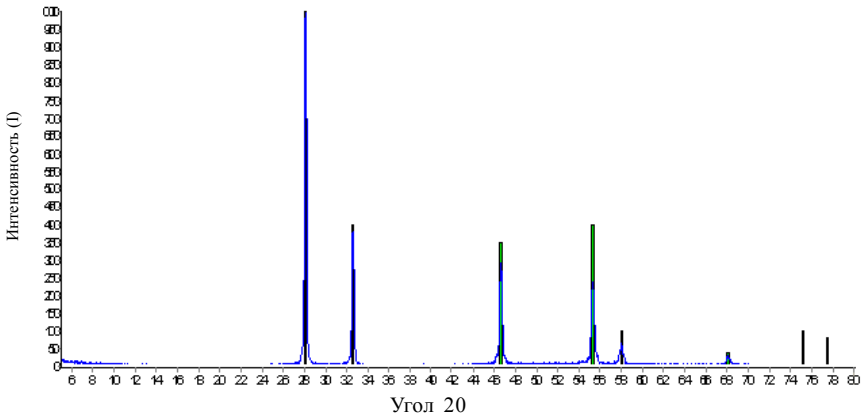


Рис. 4. Рентгенограмма образца Bi_2O_3–Er_2O_3 после отжига при 873 К

N. S. Simonova, A. Yu. Semusheva, V. I. Anikina, V. Yu. Taskin

THE RESEARCH OF GROWTH OF CRYSTALS OF DOUBLE NITRATE OF BISMUTH–ERBIUM

This article present results of researching of solidifications processes of double nitrate of bismuth-erbium. Crystal growth rate in lengthise and cross directions, type and mechanism of formation of salt crystals depending on solution concentrations and temperature of circumambient are defined. On the basis of the received data possibility of the control of crystallization processes in investigated system was suggested, that is a necessary condition for creation of the combined materials with the set properties of structural-functional type, namely, mesoporous mesostructured silicates.

Keywords: double nitrate of bismuth-erbium, the crystallization, the growth rate.

© Симонова Н. С., Семушева А. Ю., Аникина В. И., Таскин В. Ю., 2010

УДК 519.7

А. В. Лапко, В. А. Лапко

АНАЛИЗ СВОЙСТВ СМЕСИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОЦЕНОК ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ МНОГОМЕРНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ*

Исследуются асимптотические свойства смеси непараметрических оценок плотности вероятности многомерной случайной величины. Проводится их сравнение со свойствами традиционной непараметрической оценки плотности вероятности типа Розенблатта–Парзена в зависимости от количества составляющих смеси и размерности случайной величины.

Ключевые слова: смесь плотностей вероятности, непараметрическая оценка, большие выборки, асимптотические свойства.

Использование методов непараметрической статистики, основанных на оценках плотности вероятности типа Розенблатта–Парзена [1; 2] является одним из активно развивающихся направлений моделирования систем при априорной неопределённости. Однако при усложнении условий исследования систем появляются методические и вычислительные трудности применения традиционных непараметрических алгоритмов и моделей, что особенно наблюдается при обработке статистических данных большого объёма.

Перспективное направление «обхода» возникающих проблем состоит в применении принципов декомпозиции обучающих выборок по их объёму и использовании технологии параллельных вычислений.

Цель данной работы: на основе анализа асимптотических свойств непараметрической оценки смеси плотностей вероятности обосновать эффективность использования принципов декомпозиции при обработке больших массивов статистических данных.

Непараметрическая оценка смеси плотности вероятности и её свойства. Пусть выборка $V=\left(x^i, i=\overline{1,n}\right)$ из n независимых наблюдений k-мерной случайной величины $x=\left(x_v, v=\overline{1,k}\right)$ с плотностью вероятности $p(x)$. Вид $p(x)$ априори неизвестен.

Разобьём выборку V на T групп наблюдений $V_j=\left(x^i, i\in I_j\right)$, $j=\overline{1,T}$. Множество номеров наблюдений x в группе под номером j обозначим через I_j. Причем $\bigcup_{j=1}^{T} I_j = I=\left(i=\overline{1,n}\right)$. Количество $n_j=\left|I_j\right|$ элементов в выборках $V_j=\left(x^i, i\in I_j\right)$ одинаково и равно $\overline{n}=\dfrac{n}{T}$.

По каждой выборке V_j построим непараметрическую оценку плотности вероятности многомерной случайной величины x [1]:

$$\overline{p}_j(x)=\frac{1}{\overline{n}\prod_{v=1}^{k} c_v}\sum_{i\in I_j}\prod_{v=1}^{k}\Phi\left(\frac{x_v-x_v^i}{c_v}\right),\ j=\overline{1,T}. \qquad (1)$$

В статистике (1) ядерные функции $\Phi(u_v)$, удовлетворяют условиям нормированности, положительности и симметричности. Параметры ядерных функций $c_v=c_v(\overline{n})$ убывают с ростом $\overline{n}$.

Пусть интервалы изменения значений компонент x_v вектора x одинаковы. В этих условиях появляется возможность полагать, что значения коэффициентов c_v непараметрических оценок плотностей вероятности $\overline{p}_j(x)$, $j=\overline{1,T}$ одинаковы и равны c. Тогда непараметрическая оценка (1) плотности вероятности принимает вид

$$\overline{p}_j(x)=\frac{1}{\overline{n}\,c^k}\sum_{i\in I_j}\prod_{v=1}^{k}\Phi\left(\frac{x_v-x_v^i}{c}\right),\ j=\overline{1,T}. \qquad (2)$$

В качестве приближения $p(x)$ по статистической выборке V будем использовать смесь непараметрических оценок плотности вероятности типа

$$\overline{\overline{p}}(x)=\frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}\overline{p}_j(x). \qquad (3)$$

Статистика (3) допускает использование технологии параллельных вычислений при оценивании плотности вероятности в условиях больших выборок.

Асимптотические свойства $\overline{\overline{p}}(x)$ определяются следующим утверждением.

Теорема. Пусть $p(x)$ и первые две ее производные по каждой компоненте x_v, $v=\overline{1,k}$ ограничены и непрерывны; ядерные функции $\Phi(u_v)$ удовлетворяют условиям

$$\Phi(u_v)=\Phi(-u_v),\quad 0\le\Phi(u_v)<\infty,$$

$$\int\Phi(u_v)\,du_v=1,\quad \int u_v^2\,\Phi(u_v)\,du_v=1,$$

$$\int u_v^m\,\Phi(u_v)\,du_v<\infty,\quad 0\le m<\infty;\ v=\overline{1,k},$$

последовательности $c=c(\overline{n})$ коэффициентов размытости ядерных функций непараметрических оценок плотности вероятности (1) таковы, что при $\overline{n}\to\infty$ значения $c\to 0$, а $\overline{n}\,c^k\to\infty$.

Тогда при конечных значениях T непараметрическая оценка (3) плотности вероятности $p(x)$ обладает свойством асимптотической несмещённости и состоятельности.

Здесь и далее бесконечные пределы интегрирования опускаются.

Доказательство.

По определению имеем

$$M\left(\overline{\overline{p}}(x)\right)=\frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}M\left(\overline{p}_j(x)\right)=\frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}\frac{1}{\overline{n}c^k}\times$$

$$\times\sum_{i\in I_j}\int\ldots\int\prod_{v=1}^{k}\Phi\left(\frac{x_v-x_v^i}{c}\right)p(x_1^i,\ldots,x_k^i)\,dx_1^i\ldots dx_k^i=$$

* Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., ГК № 02.740.11.0621.

$$= \frac{1}{c^k}\int\ldots\int\prod_{v=1}^{k}\Phi\left(\frac{x_v - t_v}{c}\right)p(t_1,\ldots,t_k)\,dt_1\ldots dt_k =$$

$$= \int\ldots\int\prod_{v=1}^{k}\Phi(u_v)\,p(x_1 - cu_1,\ldots,x_k - cu_k)\,du_1\ldots du_k\,,$$

где M – знак математического ожидания. При выполнении преобразований учитывается, что элементы статистических выборок V_j, $j=\overline{1,T}$ являются значениями одной и той же случайной величины t с плотностью вероятности $p(t_1,\ldots,t_k)$.

Разложим $p(x_1 - cu_1,\ldots,x_k - cu_k)$ в ряд Тейлора в точке $x = x_1,\ldots,x_k$ и ограничиваясь первыми двумя членами ряда, имеем

$$W_1 = M\left(\overline{\overline{p}}(x) - p(x)\right) \sim \frac{c^2}{2}\sum_{v=1}^{k} p_v^{(2)}(x)\,, \qquad (4)$$

где $p_v^{(2)}(x)$ – вторая производная плотности вероятности $p(x)$ по компоненте x_v.

Отсюда, из условия $c \to 0$ при $\overline{n} \to \infty$ следует свойство асимптотической несмещенности смеси непараметрических оценок плотности вероятности (3).

Для доказательства сходимости $\overline{\overline{p}}(x)$ в среднеквадратическом рассмотрим выражение

$$M\int\ldots\int\left(p(x) - \overline{\overline{p}}(x)\right)^2 dx_1\ldots dx_k =$$

$$= M\int\ldots\int\left[\frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}\left(p(x) - \overline{p}_j(x)\right)\right]^2 dx_1\ldots dx_k =$$

$$= \frac{1}{T^2}M\left[\sum_{j=1}^{T}\int\ldots\int\left(p(x) - \overline{p}_j(x)\right)^2 dx_1\ldots dx_k + \right.$$

$$\left. + \sum_{j=1}^{T}\sum_{\substack{t=1\\ t\neq j}}^{T}\int\ldots\int\left(p(x) - \overline{p}_j(x)\right)\left(p(x) - \overline{p}_t(x)\right)dx_1\ldots dx_k\right]. \qquad (5)$$

Найдем асимптотическое выражение составляющих второй части выражения (5):

$$M\int\ldots\int\left(p(x) - \overline{p}_j(x)\right)\left(p(x) - \overline{p}_t(x)\right)dx_1\ldots dx_k =$$

$$= \int\ldots\int p^2(x)\,dx_1\ldots dx_k -$$

$$-M\int\ldots\int \overline{p}_t(x)\,p(x)\,dx_1\ldots dx_k - M\times$$

$$\times\int\ldots\int \overline{p}_j(x)\,p(x)\,dx_1\ldots dx_k + M\int\ldots\int \overline{p}_j(x)\,\overline{p}_t(x)\,dx_1\ldots dx_k\,. \qquad (6)$$

Преобразуем его последнее слагаемое

$$M\int\ldots\int \overline{p}_j(x)\,\overline{p}_t(x)\,dx_1\ldots dx_k =$$

$$= \int\ldots\int M\left(\overline{p}_j(x)\right)M\left(\overline{p}_t(x)\right)dx_1\ldots dx_k\,,$$

которое при достаточно большом объеме статистических данных с учётом выражения (4) представляется в виде

$$\int\ldots\int\left(p(x) + \frac{c^2}{2}\sum_{v=1}^{k} p_v^{(2)}(x)\right)^2 dx_1\ldots dx_k\,. \qquad (7)$$

Заметим, что асимптотическое выражение статистики типа

$$M\int\ldots\int \overline{p}_t(x)\,p(x)\,dx_1\ldots dx_k$$

соответствует

$$\int\ldots\int\left(p(x) + \frac{c^2}{2}\sum_{v=1}^{k} p_v^{(2)}(x)\right)p(x)\,dx_1\ldots dx_k\,. \qquad (8)$$

Подставляя выражения (7), (8) в (6), после несложных преобразований получим

$$M\int\ldots\int\left(p(x) - \overline{p}_j(x)\right)\left(p(x) - \overline{p}_t(x)\right)dx_1\ldots dx_k \sim$$

$$\sim \frac{c^4}{4}\int\ldots\int\left(\sum_{v=1}^{k} p_v^{(2)}(x)\right)^2 dx_1\ldots dx_k = \frac{c^4}{4}B\,. \qquad (9)$$

В работе В. А. Епанечникова [2] получено асимптотическое выражение для среднеквадратического отклонения непараметрической оценки плотности вероятности от $p(x)$, составляющих первую часть выражения (5):

$$M\int\ldots\int\left(p(x) - \overline{p}_j(x)\right)^2 dx_1\ldots dx_k \sim$$

$$\sim \frac{\prod_{v=1}^{k}\int\Phi^2(u_v)\,du_v}{\overline{n}\,c^k} + \frac{c^4}{4}B. \qquad (10)$$

С учётом (9), (10) выражение (5) при достаточно больших значений $\overline{n}$ представляется в виде

$$M\int\ldots\int\left(p(x) - \overline{\overline{p}}(x)\right)^2 dx_1\ldots dx_k \sim \frac{\prod_{v=1}^{k}\int\Phi^2(u_v)\,du_v}{T\,\overline{n}\,c^k} + \frac{c^4}{4}B\,. \qquad (11)$$

Нетрудно заметить, что в условиях $c \to 0$, $\overline{n}c^k \to \infty$ при $\overline{n} \to \infty$ оценка смеси плотностей вероятности (3) сходится в среднеквадратическом к $p(x)$, а с учетом свойства ее асимптотической несмещенности является состоятельной.

При $T = 1$ и $\overline{n} = n$ полученный результат (11) совпадает с утверждением теоремы В. А. Епанечникова [2], что подтверждает корректность выполненных преобразований.

Анализ аппроксимационных свойств статистики $\overline{\overline{p}}(x)$. Для анализа эффективности непараметрической оценки смеси плотностей вероятности (3) и оценки плотности вероятности типа Розенблатта–Парзена

$$\tilde{p}(x) = \frac{1}{n\,c^k}\sum_{i=1}^{n}\prod_{v=1}^{k}\Phi\left(\frac{x_v - x_v^i}{c}\right) \qquad (12)$$

рассмотрим отношение соответствующих им асимптотических выражений среднеквадратических отклонений при оптимальных значениях коэффициентов размытости ядерных функций.

Определим минимальное значение W_2 выражения (11) при оптимальных значениях c^* коэффициентов размытости непараметрических оценок $\overline{p}_j(x)$ составляющих смеси плотностей вероятности. В принятых допущениях значение

$$c^* = \left(\frac{k\prod_{v=1}^{k}\int\Phi^2(u_v)\,du_v}{\overline{n}B}\right)^{1/(k+4)}.$$

Тогда

$$W_2 = \left[\left(\frac{\prod_{v=1}^{k}\int\Phi^2(u_v)\,du_v}{\overline{n}}\right)^4 B^k\right]^{1/(k+4)} \frac{4 + T\,k}{4\,T\,k^{k/(k+4)}}\,. \qquad (13)$$

Если $k = 1$, то W_2 совпадает с минимальным асимптотическим выражением среднеквадратического отклонения для смеси непараметрических оценок плотностей вероятности, полученного в работе [3].

При $T = 1$ и $\overline{n} = n$ выражение (13) соответствует минимальному асимптотическому выражению W_2' среднеквадратического отклонения для непараметрической оценки плотности вероятности (12) типа Розенблатта–Парзена [2].

Отсюда, после несложных преобразований, получим

$$R_2 = \frac{W_2}{W_2'} = \frac{4 + T\,k}{(4+k)\,T^{k/(k+4)}}.$$

По аналогии вычислим отношение минимальных значений главных дисперсионных составляющих статистик $\overline{\overline{p}}(x)$ и $\tilde{p}(x)$:

$$W_3 = \frac{1}{T\,k^{k/(k+4)}}\left[\left(\frac{\prod_{v=1}^{k}\int \Phi^2(u_v)\,du_v}{\overline{n}}\right)^4 B^k\right]^{1/(k+4)},$$

$$W_3' = \frac{1}{k^{k/(k+4)}}\left[\left(\frac{\prod_{v=1}^{k}\int \Phi^2(u_v)\,du_v}{n}\right)^4 B^k\right]^{1/(k+4)}.$$

Их отношение имеет вид

$$R_3 = \frac{W_3}{W_3'} = \frac{1}{T^{k/(k+4)}}.$$

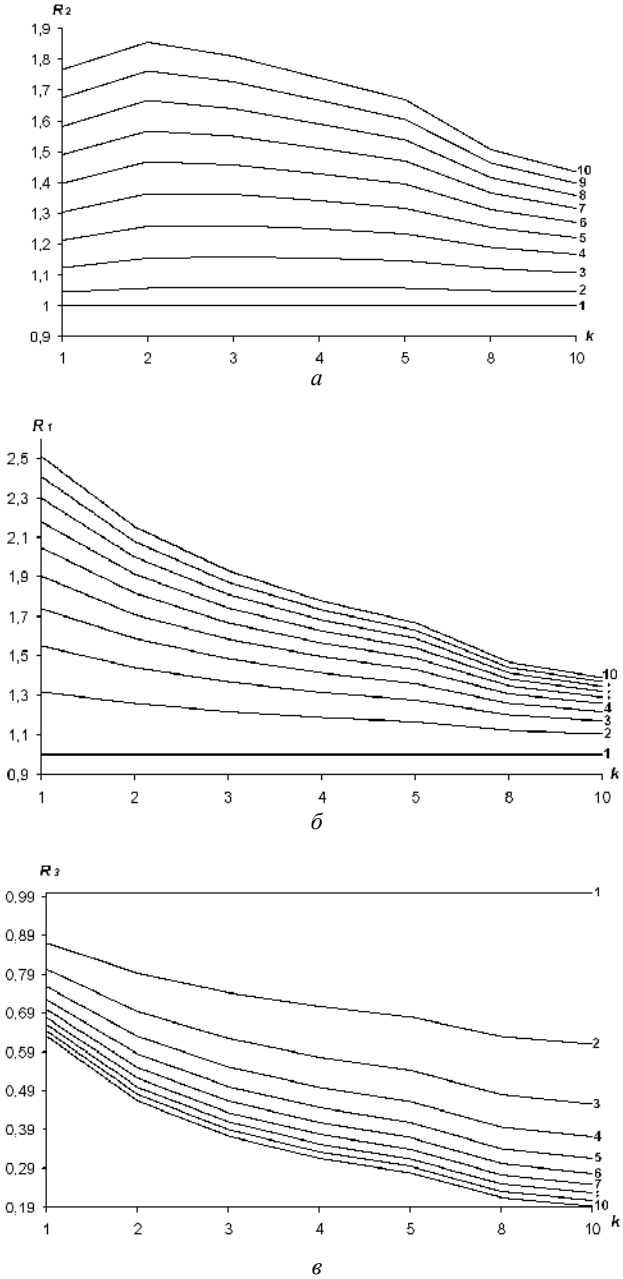
Нетрудно убедиться, что отношение асимптотических выражений смещений W_1, W_1' анализируемых оценок плотности вероятности $\overline{\overline{p}}(x)$ и $\tilde{p}(x)$ при оптимальных коэффициентах размытости ядерных функций соответствует значению

$$R_1 = \frac{W_1}{W_1'} = T^{2/(k+4)}.$$

С ростом количества T составляющих смеси непараметрических оценок плотности вероятности наблюдается увеличение значений отношений $R_2 > 1$ (см. рисунок, часть *а*), $R_1 > 1$ (см. рисунок, часть *б*). Отмеченное ухудшение аппроксимационных свойств смеси $\overline{\overline{p}}(x)$ по сравнению с традиционной непараметрической оценкой плотности вероятности $\tilde{p}(x)$ (12) объясняется снижением объёмов выборок, используемых при оценивании составляющих $\overline{\overline{p}}(x)$. Данная тенденция особенно характерна для малых размерностей k случайной величины x. При усложнении условий оценивания плотности вероятности с ростом k эффективность непараметрических оценок $\overline{\overline{p}}(x)$ и $\tilde{p}(x)$ снижается. Соответствующие им критерии W_2, W_2' и W_1, W_1' становятся соизмеримыми, что проявляется в снижении значений их отношений R_2 и R_1.

Предлагаемая смесь $\overline{\overline{p}}(x)$ оценок плотности вероятности обладает меньшей дисперсией по сравнению с непараметрической оценкой $\tilde{p}(x)$, что обусловлено её структурой, так как синтез статистики $\overline{\overline{p}}(x)$ осуществляется на основе усредняющего оператора (см. рисунок, часть *в*). Причём с увеличением количества T составляющих смеси непараметрических оценок $\overline{\overline{p}}(x)$ плотности вероятности и размерности k случайной величины её преимущество возрастает.

На основе анализа асимптотических свойств смеси непараметрических оценок плотности вероятности многомерной случайной величины обоснована возможность декомпозиции исходных статистических данных при синтезе непараметрических статистик в условиях больших выборок. Исследуемая статистика по сравнению с традиционной непараметрической оценкой плотности вероятности типа Розенблатта–Парзена имеет значительно меньшую дисперсию и позволяет использовать технологию параллельных вычислений.



Зависимости отношений: R_2 (*а*), R_1 (*б*), R_3 (*в*) от размерности k случайной величины $x = \left(x_v,\ v = \overline{1,k}\right)$ и количества T = 1–10 (кривые 1, …, 10) составляющих смеси непараметрических оценок плотности вероятности $\overline{\overline{p}}(x)$ (3)

Библиографические ссылки

1. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // Ann. Math. Statistic. 1962. Vol. 33. P. 1065–1076.

2. Епанечников В. А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности // Теория вероятности и ее применения. 1969. Т. 14. Вып. 1. С. 156–161.

3. Лапко В. А., Варочкин С. С., Егорочкин И. А. Разработка и исследование непараметрической оценки плотности вероятности, основанной на принципе декомпозиции обучающей выборки по её объему // Вестник СибГАУ. 2009. № 1(22). Ч. 1. С. 45–49.

A. V. Lapko, V. A. Lapko

ANALYSIS OF PROPERTIES OF MIXTURE OF NONPARAMETRIC ESTIMATIONS OF A PROBABILITY DENSITY OF A MULTIDIMENSIONAL RANDOM VARIABLE

Asymptotic properties of mixture of nonparametric estimations of a probability density of a multidimensional random variable are researched. Their correlation with properties of a traditional nonparametric estimation of a probability density of Rosenblatt–Parzen type, in accordance with quantity of components of mixture and dimension of a random variable is arranged.

Keywords: mixture of probability densities, nonparametric estimation, the big samples, asymptotic properties.

© Лапко А. В., Лапко В. А., 2010

УДК 681.513

А. В. Лапко, В. А. Лапко

СВОЙСТВА НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УРАВНЕНИЯ РАЗДЕЛЯЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАЗМЫТОСТИ ЯДЕРНЫХ ФУНКЦИЙ*

Исследуются асимптотические свойства непараметрической оценки уравнения разделяющей поверхности, основанной на рандомизированном методе её оптимизации. Проводится их сравнение со свойствами традиционной непараметрической решающей функции парзеновского типа.

Ключевые слова: непараметрическая статистика, распознавание образов, случайные коэффициенты размытости, асимптотические свойства.

Существующий парадокс традиционных методов идентификации стохастических моделей состоит в сопоставлении конечной случайной выборке наблюдений переменных изучаемых объектов конкретного набора параметров модели, оптимальных в некотором смысле.

Впервые возможность случайного выбора коэффициентов размытости ядерных функций при синтезе непараметрической оценки плотности вероятности типа Розенблатта–Парзена была реализована в 1975 г. Т. Вагнером [1]. В работе [2] была предложена методика синтеза непараметрических алгоритмов распознавания образов, основанная на рандомизированном методе её оптимизации. Её идея состоит в признании случайного характера коэффициентов размытости ядерных функций в условиях обучающей выборки конечного объёма и выборе параметров закона их распределения при оптимизации непараметрических решающих правил. На основе анализа асимптотических свойств непараметрической оценки плотности вероятности типа Розенблатта–Парзена со случайными коэффициентами размытости ядерных функций показана возможность нахождения рационального закона распределения в классе степенных функций. Однако исследование соответствующих непараметрических алгоритмов распознавания образов осуществлялось по данным вычислительных экспериментов.

Цель данной работы состоит в установлении асимптотических свойств непараметрической оценки уравнения разделяющей поверхности, основанной на рандомизированном методе её оптимизации, и их количественной зависимости от параметров закона распределения коэффициентов размытости ядерных функций.

Непараметрический алгоритм распознавания образов со случайными коэффициентами размытости ядерных функций. Рассмотрим методику построения непараметрического классификатора на примере двуальтернативной задачи распознавания образов в пространстве непрерывного признака x.

* Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., ГК № 02.740.11.0621.

Известно, что байесовское решающее правило распознавания образов, соответствующее критерию максимального правдоподобия, имеет вид [3]

$$m(x):\begin{cases} x\in\Omega_1, & \text{если } f_{12}(x)\le 0 \\ x\in\Omega_2, & \text{если } f_{12}(x)>0. \end{cases} \qquad (1)$$

Здесь

$$f_{12}(x)=p_2(x)-p_1(x) \qquad (2)$$

является уравнением разделяющей поверхности между классами Ω_1, Ω_2; $p_j(x)$ – условная плотность вероятности распределения признака x анализируемых объектов в классе Ω_j, $j=1,2$.

В условиях априорной неопределённости о виде законов распределения $p_j(x), j=1,2$ при статистическом оценивании уравнения разделяющей поверхности используются непараметрические методы статистики.

Пусть $V=\left(x^i,\sigma(i), i=\overline{1,n}\right)$ – обучающая выборка объёма n, составленная из значений признака x^i классифицируемого объекта и соответствующего ему «указания учителя» $\sigma(i)$ о его принадлежности к одному из двух классов Ω_1, Ω_2.

Для оценивания плотности вероятности в уравнении разделяющей поверхности (2) будем использовать статистику типа Розенблатта–Парзена [4].

Тогда традиционная непараметрическая оценка уравнения разделяющей поверхности $f_{12}(x)$ (2) представляется в виде

$$\tilde{f}_{12}(x)=(n\,c)^{-1}\sum_{i=1}^{n}\sigma_1(i)\Phi\left(\frac{x-x^i}{c}\right). \qquad (3)$$

Здесь

$$\sigma_1(i)=\begin{cases} -\overline{P}_1^{-1}, & \text{если } x^i\in\Omega_1, \\ \overline{P}_2^{-1}, & \text{если } x^i\in\Omega_2; \end{cases}$$

$\overline{P}_j=\dfrac{n_j}{n}$ – оценка априорной вероятности принадлежности ситуаций обучающей выборки к классу Ω_j, $j=1,2$. В статистике (3) ядерные функции $\Phi(u)$ удовлетворяют условиям

$$\Phi(u)=\Phi(-u),\ 0\le\Phi(u)<\infty,$$
$$\int\Phi(u)\,du=1,\ \int u^2\Phi(u)\,du=1, \qquad (4)$$
$$\int u^m\Phi(u)\,du<\infty,\ 0\le m<\infty;$$

c – коэффициент размытости ядерных функций, значения которого убывают с ростом объёма n обучающей выборки.

Здесь и далее бесконечные пределы интегрирования опускаются.

Основываясь на результатах работы [2], будем искать рациональный закон распределения коэффициентов размытости c в непараметрической оценке уравнения разделяющей поверхности среди функций вида

$$p_h(c)=\alpha c^t,\ \alpha=\frac{t+1}{h^{t+1}}\quad\forall\ c\in[0,h],$$

где h – правая граница интервала изменения c.

Параметр t плотности вероятности $p_h(c)$ априори не определён.

В соответствии с методикой построения датчиков случайных величин [5] определим процедуру формирования последовательности коэффициентов размытости ядерных функций в виде

$$c=h\,\varepsilon^{1/t+1}, \qquad (5)$$

которая следует из решения уравнения

$$\varepsilon=\int_0^c p_h(u)\,du,$$

где $\varepsilon\in[0;1]$ – случайная величина с равномерным законом распределения.

На основании процедуры (5) сформируем последовательность $c^i, i=\overline{1,n}$ коэффициентов размытости и сопоставим случайным образом её элементам ядерные функции в статистике (3). Тогда непараметрическая оценка уравнения разделяющей поверхности со случайными коэффициентами размытости ядерных функций для двуальтернативной задачи распознавания образов запишется в виде

$$\overline{f}_{12}(x)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sigma_1(i)\frac{1}{c^i}\Phi\left(\frac{x-x^i}{c^i}\right). \qquad (6)$$

Оптимизация непараметрических решающих функций $\tilde{f}_{12}(x), \overline{f}_{12}(x)$ осуществляется соответственно по коэффициенту размытости c и параметру h в режиме «скользящего экзамена» из условия минимума оценки вероятности ошибки распознавания образов.

Асимптотические свойства непараметрической оценки уравнения разделяющей поверхности. Асимптотические свойства статистики (6) определяются следующим утверждением.

Теорема. Пусть плотности вероятности $p_j(x), j=1,2$ распределения x в классах и первые две их производные ограничены и непрерывны; ядерные функции $\Phi(u)$ удовлетворяют условиям нормированности, положительности и симметричности (4); последовательность $h(n)=h$ правой границы области определения плотности вероятности $p_h(c)$ коэффициентов размытости c ядерных функций таковы, что при $n_1\to\infty$, $n_2\to\infty$, значения $h\to 0$, а $\dfrac{n_1+n_2}{n_1 n_2 h}\to 0$. Тогда непараметрическая оценка $\overline{f}_{12}(x)$ уравнения разделяющей поверхности $f_{12}(x)$ обладает свойствами асимптотической несмещенности и состоятельности.

Доказательство.

1. По определению имеем

$$M\left(\overline{f}_{12}(x)\right)=M\left(\overline{p}_2(x)-\overline{p}_1(x)\right)=$$
$$=\int_0^h\left[\frac{1}{c}\int\Phi\left(\frac{x-t}{c}\right)p_2(t)\,dt-\frac{1}{c}\int\Phi\left(\frac{x-t}{c}\right)p_1(t)\,dt\right]p_h(c)\,dc,$$

где M – знак математического ожидания.

При выполнении данных преобразований учитывается, что элементы статистических выборок, определяющих каждый класс, являются значениями одной и той же случайной величины t с плотностью вероятности $p_j(t)$, $j=1,2$. Причем элементы последовательности $c^i, i=\overline{1,n}$ формируются в соответствии с плотностью вероятности $p_h(c)$.

Проведём в интегралах последнего выражения замену переменных $(x-t)c^{-1}=u$. Разложим функции $p_j(x-cu), j=1,2$ в ряд Тейлора в точке x с учётом свойств ядерной функции (4). Тогда при достаточно больших значениях n_1, n_2 получим

$$W_1(h) = M\left(\bar{f}_{12}(x) - f_{12}(x)\right) \sim$$
$$\sim \frac{1}{2}\left(p_2^{(2)}(x) - p_1^{(2)}(x)\right)\int_0^h c^2 p_h(c)\,dc =$$
$$= \frac{(t+1)h^2}{t+3}\left(p_2^{(2)}(x) - p_1^{(2)}(x)\right), \qquad (7)$$

где $p_j^{(2)}(x)$ – вторая производная плотности вероятности $p_j(x)$ по x, $j = 1, 2$.

Отсюда, из условия $h \to 0$ при $n_1 \to \infty, n_2 \to \infty$ следует свойство асимптотической несмещенности непараметрической статистики $\bar{f}_{12}(x)$ (6).

2. Для доказательства состоятельности непараметрической оценки $\bar{f}_{12}(x)$ исследуем асимптотические свойства среднеквадратического отклонения

$$W_2(h) = \int_0^h \left(M\int\left(\bar{f}_{12}(x) - f_{12}(x)\right)^2 dx\right) p_h(c)\,dc. \quad (8)$$

Преобразуем выражение

$$M\int\left(\bar{f}_{12}(x) - f_{12}(x)\right)^2 dx = M\int\left(p_1(x) - \bar{p}_1(x)\right)^2 dx -$$
$$-2M\int\left(p_1(x) - \bar{p}_1(x)\right)\left(p_2(x) - \bar{p}_2(x)\right)dx +$$
$$+M\int\left(p_2(x) - \bar{p}_2(x)\right)^2 dx. \qquad (9)$$

Известно [6], что в асимптотике среднеквадратическое отклонение $\bar{p}_j(x)$ от $p_j(x)$ имеет вид

$$M\int\left(p_j(x) - \bar{p}_j(x)\right)^2 dx \sim \frac{\|\Phi(u)\|^2}{n_j c} + \frac{c^4\left\|p_j^{(2)}(x)\right\|^2}{4},$$
$$j = 1, 2,$$

а асимптотическое выражение смещения

$$M\left(p_j(x) - \bar{p}_j(x)\right) \sim \frac{c^2}{2} p_j^{(2)}(x),$$

где $\|\Phi(u)\|^2 = \int \Phi^2(u)\,du$, $\left\|p_j^{(2)}(x)\right\|^2 = \int\left(p_j^{(2)}(x)\right)^2 dx$.

Тогда при достаточно больших значения n_1, n_2 асимптотическое выражение для среднеквадратического отклонения (9) представляется в виде

$$M\int\left(\bar{f}_{12}(x) - f_{12}(x)\right)^2 dx \sim \frac{\|\Phi(u)\|^2 (n_1 + n_2)}{n_1 n_2 c} + \frac{c^4}{4}B, \quad (10)$$

где $B = \left\|p_1^{(2)}(x) - p_2^{(2)}(x)\right\|^2$.

С учётом (10) вычислим выражение (8):

$$W_2(h) \sim \frac{\|\Phi(u)\|^2 (n_1 + n_2)(t+1)}{n_1 n_2 h t} + \frac{h^4(t+1)}{4(t+5)}B. \quad (11)$$

Нетрудно заметить, что при выполнении условий $h \to 0, \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2 h} \to 0$ при $n_j \to \infty$, $j = 1, 2$ непараметрическая оценка $\bar{f}_{12}(x)$ сходится в среднеквадратическом к байесовскому уравнению разделяющей поверхности (2), а с учётом свойства её асимптотической несмещённости является состоятельной оценкой.

Сравнение свойств непараметрических оценок уравнения разделяющей поверхности. Для анализа эффективности непараметрических оценок $\tilde{f}_{12}(x)$ и $\bar{f}_{12}(x)$ рассмотрим отношения соответствующих им асимптотических выражений среднеквадратических отклонений при оптимальных значениях параметров h и c. Определим минимальное значение $W_2(h^*)$ при оптимальном значении h^* правой границы h плотности вероятности $p_h(c)$.

Из условия минимума $W_2(h)$ получим

$$h^* = \left[\frac{\|\Phi(u)\|^2 (n_1 + n_2)(t+5)}{n_1 n_2 t B}\right]^{\frac{1}{5}} = c^*\left(\frac{t+5}{t}\right)^{\frac{1}{5}},$$

где c^* – оптимальный коэффициент размытости ядерных функций непараметрической оценки уравнения разделяющей поверхности (3) в смысле минимума среднеквадратического отклонения $\tilde{f}_{12}(x)$ от $f_{12}(x)$ при $n \to \infty$.

Тогда минимальное значение асимптотического выражения среднеквадратического отклонения $\bar{f}_{12}(x)$ от $f_{12}(x)$ запишется в виде

$$W_2(h^*) = \frac{t+1}{\left(t^4(t+5)\right)^{1/5}}\left[\frac{\|\Phi(u)\|^2 (n_1 + n_2)}{n_1 n_2 c^*} + \frac{(c^*)^4}{4}B\right] =$$
$$= \frac{t+1}{\left(t^4(t+5)\right)^{1/5}} W_2(c^*),$$

где $W_2(c^*)$ – минимальное значение асимптотического выражения среднеквадратического отклонения $\tilde{f}_{12}(x)$ от $f_{12}(x)$.

Тогда отношение

$$R_2 = \frac{W_2(c^*)}{W_2(h^*)} = \frac{\left(t^4(t+5)\right)^{1/5}}{t+1}. \qquad (12)$$

Сравним главные дисперсионные составляющие $W_3(h), W_3(c)$ статистик $\bar{f}_{12}(x)$, $\tilde{f}_{12}(x)$, которые соответствуют первым слагаемым выражений (11), (10) при оптимальных значениях h и c. Можно показать, что их отношение совпадает с выражением (12).

По аналогии определим отношение минимальных значений смещений для $\bar{f}_{12}(x)$, $\tilde{f}_{12}(x)$, которые определяются выражениями (7) и

$$W_1(c) = \frac{c^2}{2}\left(p_2^{(2)}(x) - p_1^{(2)}(x)\right).$$

После несложных преобразований получим

$$R_1 = \frac{W_1(c^*)}{W_1(h^*)} = \frac{t+3}{t+1}\left(\frac{t}{t+5}\right)^{\frac{2}{5}}.$$

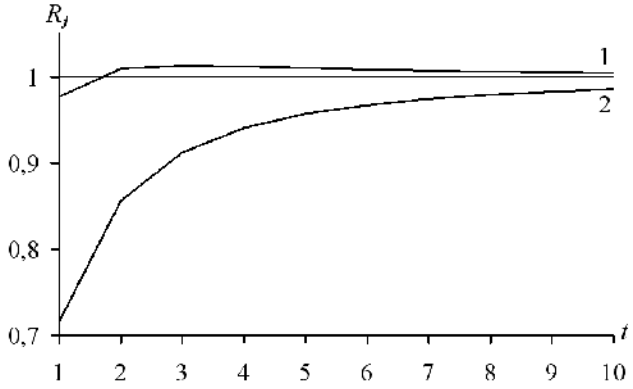
Полученные отношения R_1 и R_2 совпадают с результатами исследований непараметрической оценки плотности вероятности со случайными коэффициентами размытости ядерных функций [2]. Это объясняется тем, что статистика $\bar{f}_{12}(x)$ является линейным функционалом непараметрических оценок плотности вероятности $\bar{p}_j(x)$, $j = 1, 2$.

Предлагаемая непараметрическая оценка уравнения разделяющей поверхности $\bar{f}_{12}(x)$ имеет меньшее смещение по сравнению с традиционной непараметрической решающей функцией $\tilde{f}_{12}(x)$ (см. рисунок). С увеличением параметра t плотности вероятности $p_h(c)$ значения отношений R_1 и R_2 стремятся к 1.

В рамках предложенного подхода появляется возможность снижения значений дисперсии статистики $\bar{f}_{12}(x)$ и её среднеквадратического отклонения путём построения коллектива непараметрических оценок уравнения разделяющей поверхности между классами:

$$\bar{\bar{f}}_{12}(x) = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} \bar{f}_{12}^{j}(x).$$

Его составляющие характеризуются одним и тем же оптимальным параметром h правой границы области определения $p_h(c)$, но разными случайными последовательностями коэффициентов размытости ядерных функций $\left(c_j^i,\ i=\overline{1,n}\right),\ j=\overline{1,N}$.



Зависимости отношений R_1 (кривая 1), R_2, R_3 (кривая 2) от параметра t закона распределения $p_h(c)$ коэффициента размытости ядерных функций непараметрической оценки уравнения разделяющей поверхности $\overline{f}_{12}(x)$

Таким образом, непараметрическая оценка уравнения разделяющей поверхности в двуальтернативной задаче распознавания образов, основанная на рандомизированном методе её оптимизации, обладает свойствами асимптотической несмещённости и состоятельности. По сравнению с традиционной непараметрической решающей функцией парзеновского типа предлагаемая статистика имеет меньшее смещение, но большее значение среднеквадратического отклонения.

Перспективность данного направления исследований состоит в возможности использования принципов коллективного оценивания для повышения аппроксимационных свойств непараметрических оценок уравнения разделяющей поверхности и создания алгоритмических средств их доверительного оценивания.

Библиографические ссылки

1. Деврой Л., Дьерди Л. Непараметрическое оценивание плотности (L_1 -подход). М. : Мир, 1988.

2. Лапко А. В., Лапко В. А. Непараметрические алгоритмы распознавания образов при случайных значениях коэффициентов размытости ядерных функций // Автометрия. 2007. № 5. С. 47–55.

3. Цыпкин Я. З. Основы теории обучающихся систем. М. : Наука, 1970.

4. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // Ann. Math. Statistic. 1962. Vol. 33. P. 1065–1076.

5. Бусленко Н. П., Шрейдер Ю. А. Метод статистических испытаний. М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1961.

6. Епанечников В. А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности // Теория вероятности и ее применения. 1969. Т. 14. Вып. 1. С. 156–161.

A. V. Lapko, V. A. Lapko

PROPERTIES OF A NONPARAMETRIC ESTIMATION OF THE EQUATION OF A SEPARATING SURFACE IN THE PATTERN RECOGNITION TASK AT CASUAL VALUES OF FUZZINESS COEFFICIENTS OF KERNEL FUNCTIONS

Asymptotic properties of nonparametric estimation of the equation of the separating surface grounded on the randomized method of the estimation optimization are researched. Their correlation with properties of traditional nonparametric decision function of type a Rosenblatt–Parzen is made.

Keywords: nonparametric statistics, pattern recognition, random fuzziness parameters, asymptotic properties.

© Лапко А. В., Лапко В. А., 2010

УДК 621.6.677.49-472.2

В. Н. Тяпкин, И. А. Лубкин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОДАВЛЕНИЯ АКТИВНО-ШУМОВЫХ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Рассматривается применение программно-аппаратного комплекса подавления активно-шумовых помех для повышения качества принимаемого спутникового сигнала. Комплекс предназначен для подавления помех от стационарных источников.

Ключевые слова: адаптивный алгоритм, шумоподавление, спутниковая связь, цифровая обработка сигналов.

По мере увеличения использования частотного ресурса всё чаще возникают конфликты вследствие влияния мощных сигналов наземных источников помех на высокочувствительные системы спутниковой связи. В качестве источника помехи может выступать сигнал телепередающего центра, базовой станции сотовой связи или иного источника, излучающего в частотном диапазоне, перекрывающем частотный диапазон полезного сигнала. По причине этого появляется необходимость в решении, улучшающем качество приема. Полезный сигнал (телеметрическая информация) поступает от геостационарного спутника и имеет близкий к сигналу помехи частотный диапазон. Из-за отсутствия возможности решить проблему организационными или правовыми мерами, а также вследствие неэффективности примененных методов экранирования и фильтрации, возникла необходимость в устройстве, предназначенном для подавления активно-шумовых помех (АШП). В дальнейшем планируется использовать разработанный программно-аппаратный комплекс подавления АШП (ПАКП АШП) для решения класса подобных задач. В первичном определении задачи подразумевается зашита от одного постановщика помех, хотя применяемые методы позволяют создать защиту от большего их числа. В настоящее время нет возможности указать максимальное число постановщиков помех, защита от которых может быть обеспечена при применении описанных технических решений, так как параметры комплекса напрямую зависят от аппаратной составляющей.

Цель работы: повышение качества принимаемого спутникового сигнала, содержащего телеметрическую информацию.

В рамках достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбор метода решения задачи.
2. Разработка методики решения задачи.
3. Создание и математическое моделирование работы алгоритма подавления АШП.
4. Реализация алгоритма в качестве программы для отладочной платы.
5. Создание программно-аппаратного комплекса подавления АШП.

В рамках статьи описывается первый, второй и третий этапы решения проблемы.

Описание предметной области. Как источник полезного сигнала, так и источник помехи стационарны. Для приёма полезного сигнала используется антенна с высоким коэффициентом направленного действия. Приёмная антенна сориентирована на источник полезного сигнала. Сигнал помехи принимается боковым лепестком диаграммы направленности. По причине того, что источник помехи расположен вблизи антенной системы и имеет на несколько порядков большую мощность, чем у полезного сигнала, приём не обеспечивается. Отношение сигнал/шум (ОСШ) в худших случаях составляет порядка 15 дБ.

Существующий в настоящее время наземный контур управления (НКУ) включает в себя принимающую систему, состоит из следующих компонентов:

1. Антенно-фидерные устройства – узконаправленная параболическая спутниковая антенна и малошумящий усилитель.
2. Приемник, выполняющий роль демодулятора принимаемого сигнала. С выхода приемника поступает сигнал на промежуточной частоте.
3. Демодулятор сигнала на промежуточной частоте.
4. ПЭВМ с платой сбора данных, обеспечивающая приём и сохранение телеметрической информации, передаваемой на видеочастоте.

ПАКП АШП предлагается включить в состав НКУ для защиты от помех, создаваемых посторонними радиотехническими средствами (телевизионными ретрансляторами, базовыми станциями сотовой связи и другими источниками АШП).

Целесообразно проводить шумоподавление на промежуточной частоте (ПЧ), так как:

– АШП на несущей частоте (десятки ГГц) потребует создания сложного и дорогого устройства обработки СВЧ сигнала. Сигнал в таком устройстве может обрабатываться только в аналоговой форме;

– после детектирования сигнала будет отсутствовать необходимая корреляция между сигналами, принятыми антеннами основного и дополнительных каналов – в рассматриваемой системе осуществляется детектирование сигнала на промежуточной частоте.

Для выполнения функции защиты от АШП в качестве метода подавления АШП предлагается использовать метод адаптации [1, с. 690]. Метод адаптации можно применить для селекции полезного сигнала на фоне сигналов помех, принятых с направлений, отличных от направления на источник полезного сигнала (пространственная селекция). Если направление прихода полезного сигнала известно (или может быть установлено), то, теоретически, любые сигналы, поступающие с других направлений, могут быть подавлены с помощью формирования нулей

диаграммы направленности (ДН) в этих направлениях (рис. 1).

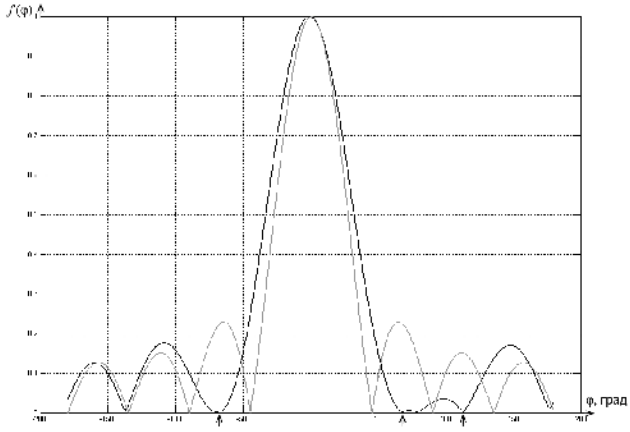


Рис. 1. Пример диаграммы направленности восьмиэлементной ФАР (серый график) и той же ФАР с тремя сформированными нулями диаграммы направленности (черный график)

Для реализации метода адаптации к исходной системе добавляется всенаправленная антенна, еще один приёмник и ПАКП АШП.

Общий принцип формирования нулей ДН следующий. Основной антенной принимаются сигналы и помеховые колебания, действующие с направления боковых лепестков ДН. Сигналы помех принимаются антеннами дополнительных каналов, так как они имеют слабую направленность и не могут принять маломощный информативный сигнал. Процессор ЦОС на основе вычисления корреляционной связи между основным и дополнительными каналами вырабатывает весовые коэффициенты дополнительных каналов, которые обеспечивают компенсацию помех.

Оценки весовых коэффициентов при использовании адаптивных антенных систем могут вычисляться с помощью одного из адаптивных алгоритмов. Предпочтительной является реализация блоков подавителя АШП с использованием цифровой обработки сигналов. ЦОС позволяет упростить его технологическую реализацию и повысить стабильность системы.

Вследствие решения использования ЦОС к алгоритму вычисления весовых коэффициентов предъявляется требование простоты и высокой скорости работы.

Из набора алгоритмов вычисления весовых коэффициентов наиболее предпочтительным, по результатам анализа в [2, с. 344], является рекуррентный алгоритм, так как он обеспечивает наибольшую скорость вычисления оценок весовых коэффициентов, формирующих ноль ДН при невысоких вычислительных затратах.

Данный алгоритм позволяет избежать трудностей, связанных с прямым вычислением совокупности весовых коэффициентов. По сравнению с прямым вычислением весовых коэффициентов, данный класс алгоритмов обычно характеризуется более простыми вычислениями, оказывается менее чувствительным к погрешностям аппаратуры и обеспечивает непрерывную подстройку весовых коэффициентов в соответствии с изменяющимися условиями приёма сигнала.

Для решения задачи будем использовать метод адаптивной системы защиты от АШП с выделенным каналом обработки.

Рассмотрим общую схему устройства компенсации помех (с одним дополнительным каналом), принятых боковыми лепестками ДН антенны (рис. 2), где r_1 – комплексный весовой коэффициент дополнительного канала.

В этом устройстве используется основной (выделенный) канал, подключённый к главной антенне с большим коэффициентом усиления и узкой ДН, и дополнительные каналы, подключённые к антенне с широкой ДН. Диаграммы направленности дополнительных каналов должны перекрывать боковые лепестки основной ДН.

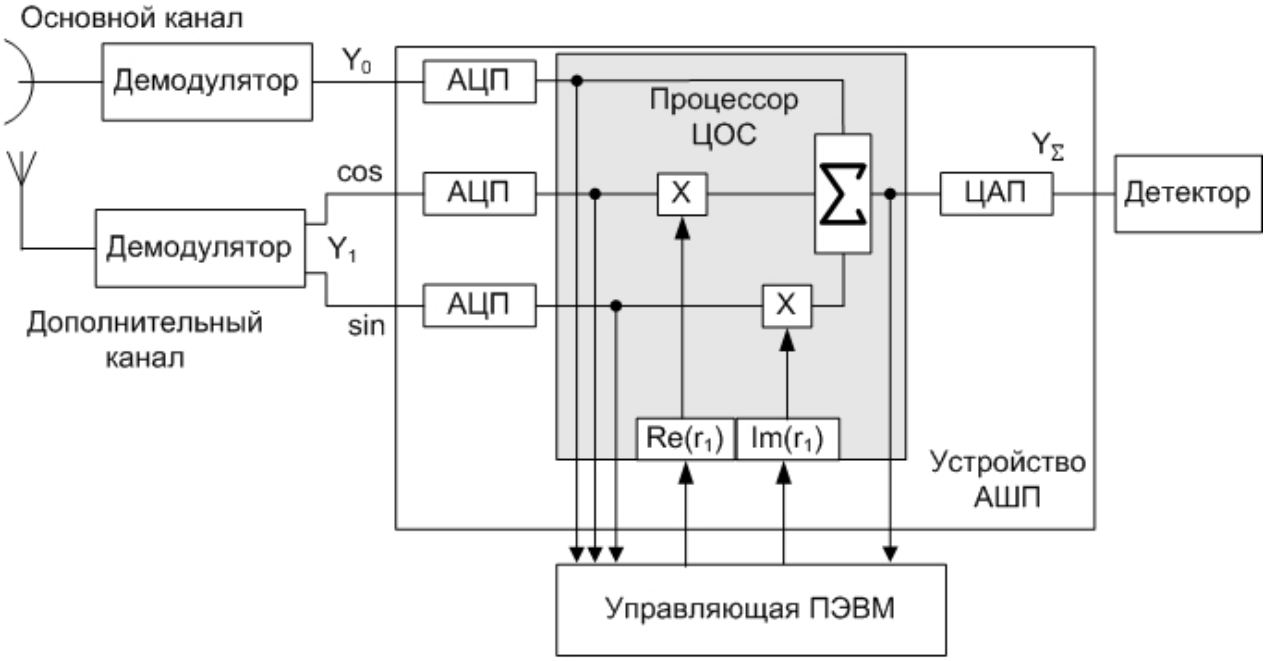


Рис. 2. Функциональная схема ПАКП АШП:
$Re(r_1)$, $Im(r_1)$ – регистры процессоров ЦОС, содержащие компоненты весового коэффициента

В этой модели диаграммообразующая система (ДОС) формирует сигналы с выходов основного и дополнительных каналов. Весовой обработке подвергаются сигналы только дополнительных каналов. Для такой модели можно записать выражение для весового вектора:

$$R = \begin{pmatrix} 1 \\ \mathrm{r}_{1n} \\ \vdots \\ \mathrm{r}_{Mn} \end{pmatrix}; R_n = \begin{pmatrix} \mathrm{r}_{1n} \\ \vdots \\ \mathrm{r}_{Mn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где n – номер шага адаптации; M – количество дополнительных каналов; R_n – вектор комплексных весовых коэффициентов дополнительных каналов на n-м шаге адаптации размерностью M. Запишем вектор сигналов на выходе обработчика как

$$Y = \begin{pmatrix} Y_0 \\ Y_{1n} \\ \vdots \\ Y_{Mn} \end{pmatrix}; Y_n = \begin{pmatrix} Y_{1n} \\ \vdots \\ Y_{Mn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где Y_0 – выходной сигнал основного канала; Y_n – вектор размерностью M сигналов дополнительных каналов.

Тогда сигал Y_Σ на выходе адаптивной системы в случае дискретной оценки будет определяться по следующему алгоритму [3, с. 484, 485]:

$$\begin{cases} \hat{\Phi}_{n+1}^{-1} = \dfrac{n+1}{n}\left(\hat{\Phi}_n^{-1} - \dfrac{\hat{\Phi}_n^{-1} \cdot Y_{n+1} \times Y_{n+1}^{*T} \cdot \hat{\Phi}_n^{-1}}{2n + Y_{n+1}^{*T} \cdot \hat{\Phi}_n^{-1} \cdot Y_{n+1}}\right), \\ Y_\Sigma = Y_0 + Y_n^{*T} R_n, \\ \hat{R}_{n+1} = \dfrac{n+1}{n}\left(\hat{R}_n - \dfrac{\hat{\Phi}_n^{-1} \cdot Y_{n+1} \cdot Y_{n+1}^{*T} \cdot \hat{R}_n}{2n + Y_{n+1}^{*T} \cdot \hat{\Phi}_n^{-1} \cdot Y_{n+1}}\right), \end{cases} \quad (3)$$

где индекс n означает номер шага адаптации, $\hat{\Phi}_n^{-1}$ – оценка корреляционной матрицы помех дополнительных каналов на n-м шаге адаптации размерностью $M \cdot M$, $\hat{R}_n$ – оценка весового вектора дополнительных каналов на n шаге адаптации размерностью $M \cdot 1$.

Для данного алгоритма не имеет значения тип применяемых антенн.

Оценим эффективность рекуррентного алгоритма при различных помеховых ситуациях и конструктивных исполнениях устройства подавления АШП.

Для исследования свойств выбранного рекуррентного алгоритма использовалась математическая модель (3). Вектор спектральных коэффициентов R определялся рекуррентным методом. Кроме того, для сравнения эффективности выбранного алгоритма использовалась градиентная модель оценки весового вектора.

Адаптация в соответствии с данными алгоритма осуществлялась на фоне полезного сигнала, приходящего с направления главного максимума исходной ДН, уровень мощности которого равен 10 дБ относительно уровня собственных шумов системы. ОСШ вычислялось согласно выражению (4) [2, с. 83]:

$$q = 10\log \frac{\mathrm{R}^{*T} Y_0}{\mathrm{R}^{*T} \Phi R}, \quad (4)$$

где R – значение вектора весовых коэффициентов; Y_0 – вектор сигнала; Ф – корреляционная матрица помех.

В данной модели источник полезного сигнала – искусственный спутник Земли. Расстояние от антенной системы до источника сигнала порядка 35 000 км. Главный максимум ДН основного канала ориентирован на источник сигнала.

Расстояние от антенной системы до источника помехи порядка 10 км. Вследствие этого амплитуда сигнала помехи будет многократно превышать амплитуду полезного сигнала вблизи антенной системы и будет приниматься боковыми лепестками ДН дополнительной антенны. Моделирование проводилось для различных ситуаций, в которых изменялось количество дополнительных каналов и источников помех. Мощность источников помех во всех случаях составляла 20 дБ относительно собственного шума системы. Также для сравнения проводилось моделирование вычисления весовых коэффициентов градиентным алгоритмом. В результате работы алгоритмами формировались узкие провалы в направлении источников помех. Результаты моделирования приведены в таблице.

Анализ данных таблицы показывает, что рекуррентный алгоритм даёт статистически лучшие показатели за меньшее число шагов. При этом вычислительные затраты меньше, чем в случае градиентного алгоритма.

Так как в рассматриваемой практической задаче необходима защита только от одного источника помех, то все матрицы в формуле (4) вырождаются в скаляры, что позволяет оптимизировать алгоритм для применения в устройстве ЦОС. Также в случае одного постановщика помех все операции будут проводиться не над комплексными, а над вещественными числами вследствие возможности получения с выхода демодулятора сигнала в квадратуре.

В соответствии с принятыми принципами построения комплекса, в состав ПАК входят следующие приборы и системы:

– антенно-фидерные устройства основного и дополнительных каналов (антенны дополнительных каналов слабонаправленные, перекрывающие уровень боковых лепестков антенны основного канала). АФУ основного канала обеспечивает приём электромагнитных волн круговой поляризации;

– приёмники основных и дополнительных каналов, обеспечивающие приём и основное усиление сигнального и помеховых колебаний;

Результаты моделирования

Количество дополнительных каналов	Количество помеховых источников	Мощность помеховых источников, дБ	Рекуррентный алгоритм		Градиентный алгоритм	
			Выигрыш ОСШ, дБ	Кол-во шагов	Выигрыш ОСШ, дБ	Кол-во шагов
3	2	20	21	3	19,5	18
3	3	20	20	6	18	60
7	2	20	21	3	18	18
7	4	20	19	5	18,5	80
7	5	20	20	5	19	400

– аналого-цифровые преобразователи (АЦП), позволяющие производить оцифровку аналогового сигнала.

– процессор ЦОС, осуществляющий реализацию алгоритма подавления АШП;

– управляющая ПЭВМ, обеспечивающая управление режимами работы ПАКП АШП, отображение и контроль сигналов на входе и выходе;

– контрольно-измерительная аппаратура, предназначенная для контроля и настройки работы основных узлов ПАК.

Требования, предъявляемые к оборудованию. Рассчитаем производительность аппаратуры, необходимую для вычисления весовых коэффициентов. Для этого оценим вычислительные затраты на одну итерацию алгоритма (4). Для вычисления оценки весового вектора дополнительных каналов $\hat{R}_n$ необходимо произвести $3M^2+M$ комплексных умножений, $3M^2+2M+1$ комплексных сложений и $2M$ действительных сложений. Для вычисления оценки корреляционной матрицы помех дополнительных каналов, с учетом эрмитивности матрицы $\hat{\Phi}_n^{-1}$, необходимо произвести $0{,}5\cdot 1M^2$ комплексных умножений, $2M^2$ комплексных сложений и $2M$ действительных сложений. Переходя к действительным вычислениям получаем, что на одну итерацию алгоритма нужно затратить $15M^2+6M$ действительных умножений и $17M^2+6M+2$ действительных сложений. Близкие к оптимальным, оценки весовых коэффициентов достигаются за $2m$ итераций, где m – число источников помех [3, с. 485]. Таким образом, вычислительная мощность, затрачиваемая на адаптацию, равна $2\cdot m\cdot T_a\cdot(M^2(15K_*+17)+6M(1+K_*))+2)$, где T_a – время адаптации, с; m – число источников помех; M – количество элементов линейной ФАР, K_* – количество тактов, затрачиваемых на выполнение умножения процессором ЦОС.

Рассчитаем производительность аппаратуры, необходимую для обработки входного сигнала на промежуточной частоте. Обозначим ширину спектра сигнала как $f_в$. Согласно [3, с. 388], необходимо, чтобы частота дискретизации сигнала была не менее $2{,}2\cdot f_в$ для предотвращения потери информации. В процессе обработки одного отсчёта выполняются M операций комплексного умножения и сложения, а также одно действительное сложение. В операциях действительной арифметики нужно затратить более $4M(1+K_*)+1$ тактов на обработку одного отсчёта, где K_* – количество тактов, затрачиваемых процессором ЦОС на выполнение умножения. Для обеспечения обработки сигнала в реальном масштабе времени тактовая частота ЦОС должна быть не менее $8{,}8\cdot f_в\cdot(M\cdot(1+K_*)+1)$ Гц.

Для ввода сигнала через дополнительные каналы должен использоваться приёмник типа, идентичного типу приёмника, используемого в основном канале.

Таким образом, получены следующие результаты:

– разработана методика решения задачи на основе рекуррентного вычисления матриц весовых коэффициентов;

– сформирован алгоритм, пригодный для использования в устройствах на базе процессора ЦОС;

– произведено моделирование работы алгоритмов подавления АШП;

– произведён расчёт требований к аппаратной составляющей комплекса.

В дальнейшем планируется усовершенствовать алгоритм для решения задачи подавления помехи от нескольких источников.

В рамках рассмотренных материалов авторам не удалось найти описания устройств, позволяющих осуществлять подавление АШП на промежуточной частоте.

Библиографические ссылки

1. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория : справочник / Я. Д. Ширман, Ю. И. Лосев, Н. Н. Минервин и др. ; под ред. Я. Д. Ширмана. М. : МАКВИС, 1998.

2. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решётки: Введение в теорию : пер. с англ. М. : Радио и связь, 1986.

3. Локационная системотехника / В. Б. Алмазов, Г. С. Богословский, П. А. Брандис и др. ; под общ. ред. В. Б. Алмазова. Харьков ; ВИРТА ПВО, 1993.

V. N. Tyapkin, I. A. Lubkin

THE USE OF RECURRENT ADAPTIVE ALGORITHMS FOR SOLVING THE PROBLEM OF NOISE REDUCTION IN THE SYSTEM OF SATELLITE COMMUNICATION

In the article application of software- and hardware-based complex of suppression of active noise hindrances for improvement of the quality of the received satellite signal is considered.

The complex is destined for suppression of jamming signals from stationary sources.

Keywords: adaptive algorithm, noise reduction, satellite communication, DSP (digital signal processing).

© Тяпкин В. Н., Лубкин И. А., 2010

УДК 621.318.562.5

А. Н. Пахомов, М. В. Кривенков, В. И. Иванчура

МОДАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Представлен синтез модальных регуляторов мгновенных значений координат цифровых электроприводов постоянного тока с широтно-импульсным преобразователем методом пространства состояний с учетом влияния переменного чистого запаздывания в канале управления.

Ключевые слова: модальный регулятор, электропривод постоянного тока, широтно-импульсный преобразователь.

Теория цифровых многократных систем подчиненного регулирования электропривода [1; 2; 3] разработана достаточно хорошо. Меньше внимания уделяется системам электропривода, построенным на основе суммирования обратных связей по вектору состояния, которое позволяет снизить чувствительность к вариациям параметров объекта управления. Такие регуляторы в отечественной литературе принято называть *модальными*, поскольку коэффициенты вектора обратной связи непосредственно влияют на собственные значения (моды) матрицы замкнутой системы.

Авторами была поставлена задача проектирования таких модальных регуляторов, включающая получение дискретных уравнений состояния объекта управления по его дифференциальным уравнениям; определение коэффициентов обратных связей по переменным состояния в соответствии с заданным спектром матрицы динамики замкнутой цифровой системы управления; внесение коррективов, связанных с некоторыми особенностями реального широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Необходимо учитывать и влияние переменного чистого запаздывания в канале управления двукратной цифровой системы, весьма характерное для системы электропривода с микропроцессорным управлением.

Причины появления двух периодов дискретности, а также природа чистого запаздывания в микропроцессорных системах рассмотрены в работах [4; 5]. Предполагается, что период прерывания (ПП) работы управляющей микроЭВМ содержит целое число N периодов коммутации (ПК) ШИП: $T = NT_к$, где T и $T_к$ – величины ПП и ПК соответственно. Поскольку периодов дискретности два, то целесообразно ввести два типа относительного времени – глобальное τ и локальное внутри ПП θ, причем

$$\tau = \frac{t}{T}, \quad \theta = \frac{t}{T_к} = \frac{N}{T}t = N\tau, \quad \theta \in [0,\ N]. \qquad (1)$$

Ниже будут использованы только определенные таким образом относительные значения времени.

Пусть расчет сигнала управления на n-м ПП $u[n]$ завершается по истечении вычислительного запаздывания $\tau_в$ на k-м ПК (рис. 1). Локальное вычислительное запаздывание $\theta_в$ отсчитывается от начала k-го ПК. Если локальная задержка времени $\theta_{ШИП_1}$, необходимая для реализации $u[n]$, больше чем $\theta_в$ (верхняя часть рис. 1), то эта реализация может быть осуществлена уже на k-м ПК. На первых k ПК реализуется предыдущее значение сигнала управления $u[n-1]$. Если $\theta_{ШИП_2} < \theta_в$ (нижняя часть рис. 1), то реализация $u[n]$ откладывается до $(k+1)$-го ПК. В частном случае, когда $k = N - 1$, она начнется только с нулевого ПК $(n+1)$-го ПП.

Задержка $\theta_{ШИП}$ обусловлена природой полупроводниковых ШИП, выходное напряжение которых регулируется за счет изменения ее величины.

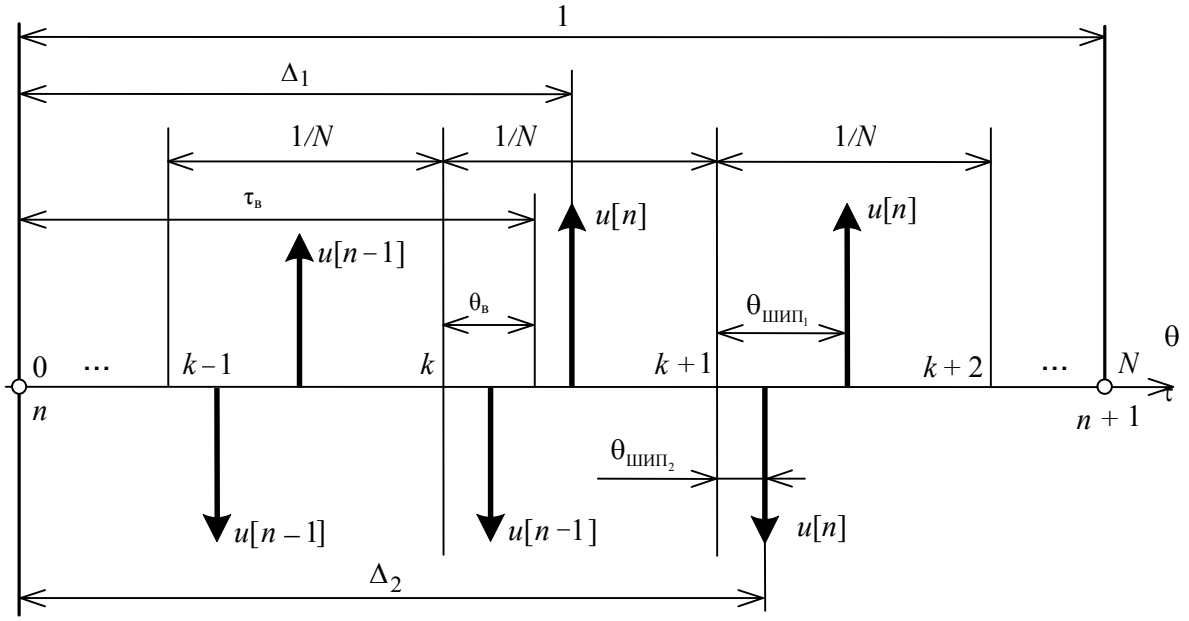


Рис. 1

В локальном масштабе времени величина чистого запаздывания принадлежит диапазону $0 \le \theta_\Delta \le N+1$ [5]. Поэтому ее удобно разбить на целую K и дробную δ части: $\theta_\Delta = K + \delta$.

Проектирование цифровых регуляторов включает расчет параметров дискретных уравнений состояния объекта управления с учетом влияния чистого запаздывания, имеющих общий вид в соответствии с [4; 5]:

$$\tilde{X}[n+1] = \tilde{\Phi}_{\text{ПП}} \tilde{X}[n] + \tilde{W}_{\text{ПП}} u[n], \qquad (2)$$

где вектор переменных состояния, переходная и весовая матрицы для ПП запишутся как

$$\tilde{X}[n] = \begin{bmatrix} X[n] \\ y_1[n] \end{bmatrix}; \quad \tilde{\Phi}_{\text{ПП}} = \begin{bmatrix} \Phi_{\text{ПП}}(1) & F \\ 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\tilde{W}_{\text{ПП}} = \begin{bmatrix} H \\ 1 \end{bmatrix}; \quad y_1[n+1] = u[n]. \qquad (3)$$

В матрицы (3) введена дополнительная переменная состояния y_1 для случая, когда целая часть чистого запаздывания в глобальном масштабе времени равна одному ПП.

В случае регулирования по мгновенным значениям координат расчет матриц F и H осуществляется по формулам [4]:

$$F = \Phi_{\text{ПК}}^{N-K}(1) \underbrace{\{\Phi_{\text{ПК}}(1) \ldots \{\Phi_{\text{ПК}}(1)}_{K-1} + \underbrace{E\} + \ldots + E\}}_{K-1} W_{\text{ПК}}(1-\delta), \qquad (4)$$

$$H = \underbrace{\{\Phi_{\text{ПК}}(1) \ldots \{\Phi_{\text{ПК}}(1)}_{N-K-1} + \underbrace{E\} + \ldots + E\}}_{N-K-1} W_{\text{ПК}}(1-\delta), \qquad (5)$$

где $\Phi_{\text{ПК}}$ и $W_{\text{ПК}}$ – переходная и весовая матрицы для ПК; E – единичная матрица.

Синтез цифрового модального регулятора состояния по заданному спектру матрицы динамики возможен тогда и только тогда, когда пара матриц $[\tilde{\Phi}_{\text{ПП}}, \tilde{W}_{\text{ПП}}]$ полностью управляема [6]. Пусть P – вектор коэффициентов обратных связей размерностью l, где l – количество переменных состояния (порядок характеристического полинома системы). Значение P можно найти из [6]:

$$P = [(GS^T)^{-1}(\gamma - g)]^T, \qquad (6)$$

где $S = \begin{bmatrix} \tilde{W}_{\text{ПП}} & \tilde{\Phi}_{\text{ПП}}\tilde{W}_{\text{ПП}} & \tilde{\Phi}_{\text{ПП}}^2\tilde{W}_{\text{ПП}} & \cdots & \tilde{\Phi}_{\text{ПП}}^{n-1}\tilde{W}_{\text{ПП}} \end{bmatrix}$;

$\gamma = \begin{bmatrix} \gamma_{l-1} & \gamma_{l-2} & \cdots & \gamma_0 \end{bmatrix}^T$; $g = \begin{bmatrix} g_{l-1} & g_{l-2} & \cdots & g_0 \end{bmatrix}^T$;

$$G = \begin{bmatrix} g_l & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ g_{l-1} & g_l & 0 & \cdots & 0 \\ g_{l-2} & g_{l-1} & g_l & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ g_1 & g_2 & g_3 & \cdots & g_l \end{bmatrix};$$

γ и g – коэффициенты характеристического полинома замкнутой системы и объекта управления соответственно.

Если коэффициент $g_l \ne 0$, то треугольная матрица G не вырожденная [6]. Поэтому для существования вектора P матрица управляемости S должна иметь ранг l, или, что то же самое, пара матриц $[\tilde{\Phi}_{\text{ПП}}, \tilde{W}_{\text{ПП}}]$ должна быть управляемой.

В реальной системе с ШИП величина чистого запаздывания будет переменной, и это необходимо учитывать при синтезе регуляторов цифровых систем.

Проведем синтез модального регулятора и исследование замкнутой цифровой системы электропривода постоянного тока с ШИП. Ввиду переменного характера чистого запаздывания Δ необходимо просчитывать несколько значений коэффициентов обратных связей, соответствующих диапазону изменения Δ последнего. Промежуточные значения получаются путем интерполяции.

Система непрерывных дифференциальных уравнений для ПК не зависит от модели силового преобразователя и имеет вид [3]:

$$\left.\begin{aligned} \frac{di}{d\theta} &= -\frac{1}{\theta_a} i - \frac{1}{\theta_a}\omega + \frac{1}{\theta_a} u, \\ \frac{d\omega}{d\theta} &= \frac{1}{\theta_m} i, \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

где i, ω – относительные значения тока якоря и частоты вращения вала двигателя соответственно; θ_a и θ_m – относительные электромагнитная и электромеханическая постоянные времени соответственно. Пусть, например, $\theta_a = 8$, $\theta_m = 32$ и $N = 4$, тогда матрицы динамики и входа непрерывных уравнений состояния (7) будут

$$A = \begin{bmatrix} -0{,}125 & -0{,}125 \\ 0{,}03125 & 0 \end{bmatrix}, \; B = \begin{bmatrix} 0{,}125 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Коэффициенты $P(\Delta)$ в модели задаются в виде таблицы соответствий между величиной Δ и значениями коэффициентов обратных связей, которую следует рассчитать до начала моделирования. Значения вектора P определяются для линейной модели с идеальным импульсным элементом в предположении установившегося режима. Звено, реализующее переменный коэффициент $P(\Delta)$, выполняет линейную интерполяцию между двумя ближайшими к нему значениями, если величина Δ не совпадает с рассчитанными значениями. Это позволяет уменьшить число элементов таблицы соответствий, так как расчеты показывают, что кривая зависимости значений коэффициентов $P(\Delta)$ монотонная и достаточно гладкая.

Значения коэффициентов обратных связей в системе электропривода постоянного тока с ШИП, вычисленных по приведенной выше методике для ряда значений Δ, представлены в таблице, где применяются следующие обозначения: P_1 – вектор коэффициентов обратной связи по мгновенному току якоря; P_ω – вектор коэффициентов обратной связи по мгновенной частоте вращения вала двигателя; P_U – вектор коэффициентов обратной связи по значению сигнала управления на предыдущем ПП, который и является дополнительной переменной состояния.

В качестве примера для расчета значений коэффициентов $P(\Delta)$ выберем биномиальный спектр матрицы ди-

Коэффициенты обратных связей

Δ	0	0,2	$0{,}25_-$	$0{,}25_+$	0,45	0,65	0,85	1,05	$1{,}25_-$
P_I	1,110 3	1,096 3	1,092 6	0,502 9	0,491 2	0,479 5	0,467 7	0,456	0,444 2
P_ω	3,908 1	3,797 7	3,770 4	1,546 1	1,496 4	1,447 8	1,400 4	1,354 3	1,309 3
P_U	0	0	0	–0,223	–0,16	–0,099	–0,04	–0,017	–0,017

намики замкнутой системы с эквивалентной постоянной времени $\tau_\omega = 1{,}5$, характеризующей ее быстродействие. При величине чистого запаздывания большей, чем ПК ШИП, в модели присутствует дополнительная обратная связь [4] – ненулевой коэффициент P_U (см. таблицу). Вместе с тем наличие обратной связи по еще одной координате системы может оказаться полезным с точки зрения повышения грубости системы электропривода.

Приведем расчет переходных процессов при помощи инструментального средства Simulink пакета имитационного моделирования MatLab фирмы The MathWorks, Inc.

Структурная схема замкнутой системы для моделирования (рис. 2) состоит из последовательно включенных модели ШИП и звеньев объекта управления системы электропривода постоянного тока, где q – безразмерный оператор Лапласа. В модель включены переменные коэффициенты обратных связей, зависящие от величины Δ, выдаваемой ШИП, который переключается N раз за ПП. Относительные постоянные времени τ_a и τ_m меньше в N раз по сравнению с θ_a и θ_m [4].

Для компенсации статической ошибки, вызванной приложением момента нагрузки, в модель введен регулируемый входной коэффициент M. Его величина зависит в том числе и от значения момента нагрузки. Как известно, измерение последнего затруднительно, поэтому ниже будет рассмотрен вариант отсутствия такой зависимости. Расчет входного коэффициента проводится по формуле

$$M = 1 + \sum_l \frac{x_l \cdot p_l}{x^*},$$

где l – количество переменных состояния; x_l – мгновенное значение l-й переменной в конце ПП; p_l – значение коэффициента обратной связи по l-й переменной; x^* – сумма величин задающего воздействия и возмущения.

Следует отметить, что входной коэффициент для задающего сигнала, введенный для обеспечения нулевой статической ошибки, зависит от величины чистого запаздывания, так как коэффициенты характеристического полинома передаточной функции замкнутой системы будут изменяться в зависимости от вектора P.

Величина задержки $\theta_{ШИП}$ представляет собой коэффициент заполнения ШИП β, который вычисляется по формуле [3]:

$$\beta = \frac{\omega^* + i_c + 1}{2},$$

где ω^* – заданное значение частоты вращения двигателя; i_c – статический ток, принятый в качестве возмущающего сигнала для системы.

Кривые переходных процессов описанной выше системы имеют характерный для биномиального спектра

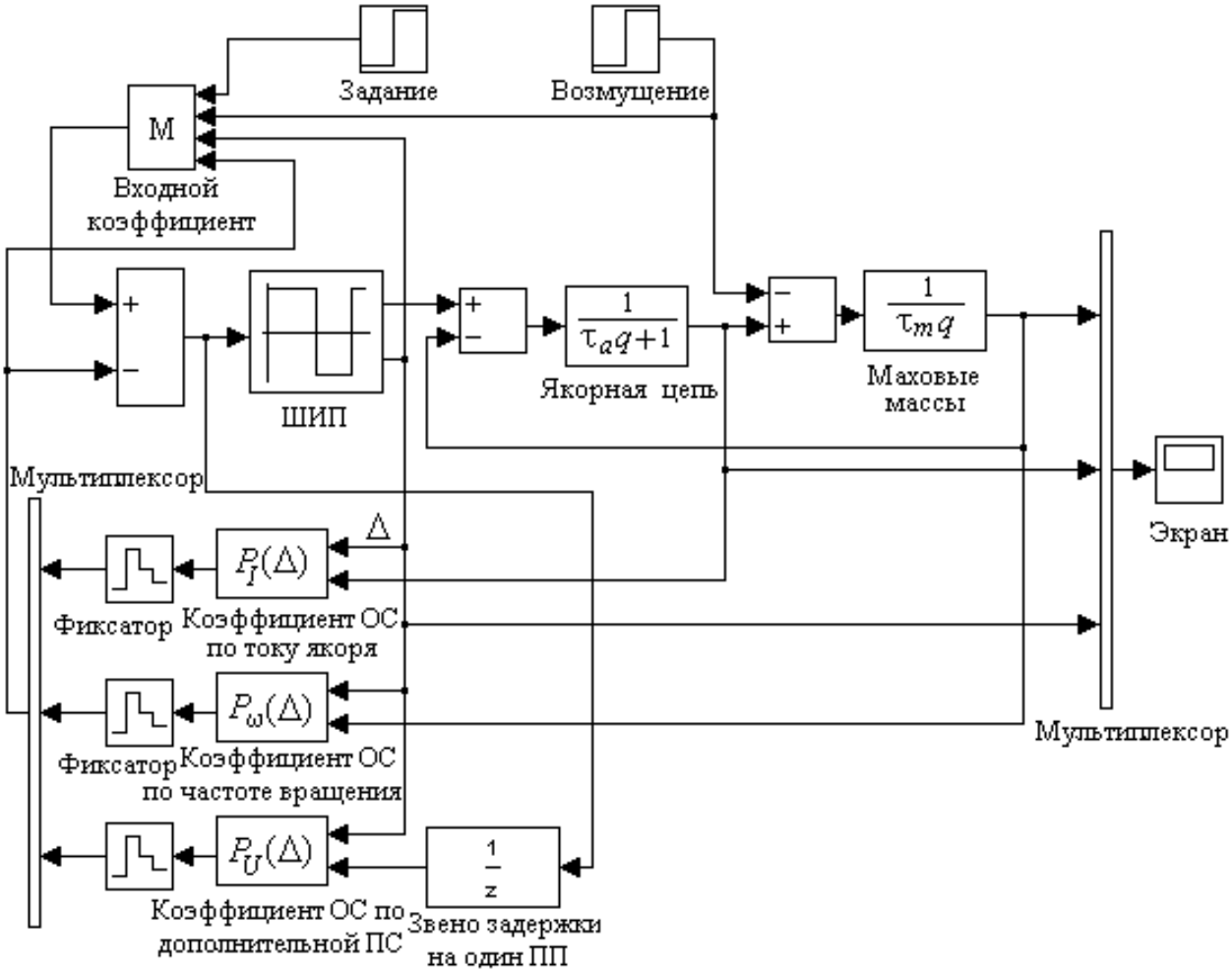


Рис. 2

апериодический характер и заданное быстродействие (рис. 3). По оси абсцисс отложены значения глобального относительного времени. Наличие пульсаций объясняется импульсным характером тока якоря. Компенсация возмущения обеспечивает нулевую статическую ошибку. Величина вычислительного запаздывания, вносимая микроЭВМ, равна 0,1. Максимальный сигнал управления и ЭДС источника напряжения ШИП приняты равными 1. Сигнал задания представляет собой скачок с уровня 0,1 до 0,2 со смещением на 3 ПП (для наглядности). Скачок статического тока от 0,05 до 0,1 смещен на 25 ПП для обеспечения установившегося режима в системе после отработки задания.

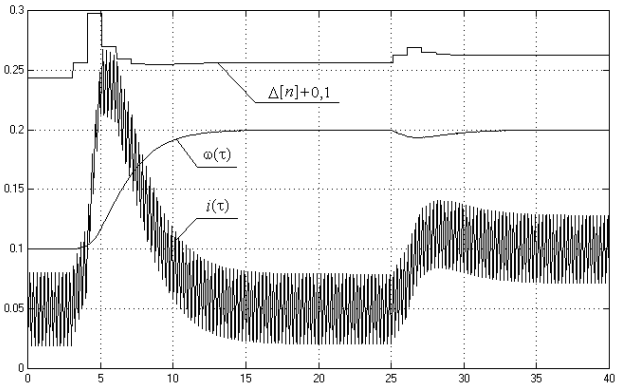


Рис. 3

Как уже отмечалось выше, фактическая величина чистого запаздывания может меняться в достаточно широких пределах и при его значительном отклонении от расчетного значения переходные процессы могут быть совершенно неприемлемыми. Разработанная методика синтеза модальных регуляторов позволяет исключить субгармонические колебания, характерные для систем высокого быстродействия со звеном чистого запаздывания в канале управления (под субгармоническими понимают колебания, период которых превышает ПП в целое число раз [3]).

Представим графики процессов в цифровой системе электропривода (рис. 4) для двух случаев: обратных связей с переменными коэффициентами в функции чистого запаздывания (рис. 4, *а*); обратных связей с постоянными коэффициентами, рассчитанными в предположении среднего значения чистого запаздывания, равного одному ПП [3] (рис. 4, *б*). Во втором случае при отработке задания возникают сходящиеся субгармонические колебания, под влиянием действия которых быстродействие системы уменьшается примерно в полтора раза. При значительном увеличении быстродействия субгармонические колебания могут даже расходиться. В любом случае их появление крайне нежелательно, так как они плохо фильтруются маховыми массами из-за низкой частоты и приводят к дополнительным потерям энергии.

Таким образом, выше нами был произведен анализ и обоснован принцип учета задержек времени, вносимых микроЭВМ совместно с ШИП, при расчете дискретных уравнений состояния объекта управления; разработана методика численного расчета модальных регуляторов состояния с учетом влияния переменного чистого запаздывания в микропроцессорной системе с несколькими периодами дискретности. Учет переменного характера чистого запаздывания позволяет устранить субгармонические колебания, характерные для замкнутых цифровых систем высокого быстродействия, а также снизить статическую ошибку (вплоть до полной компенсации) и значительно уменьшить динамической ошибки, если возмущающее воздействие в системе доступно наблюдению и измерению.

Библиографические ссылки

1. Волков А. И. Алгоритмы и структуры микропроцессорных систем управления высокодинамичными электроприводами // Электротехника. 1999. № 8. С. 10–16.

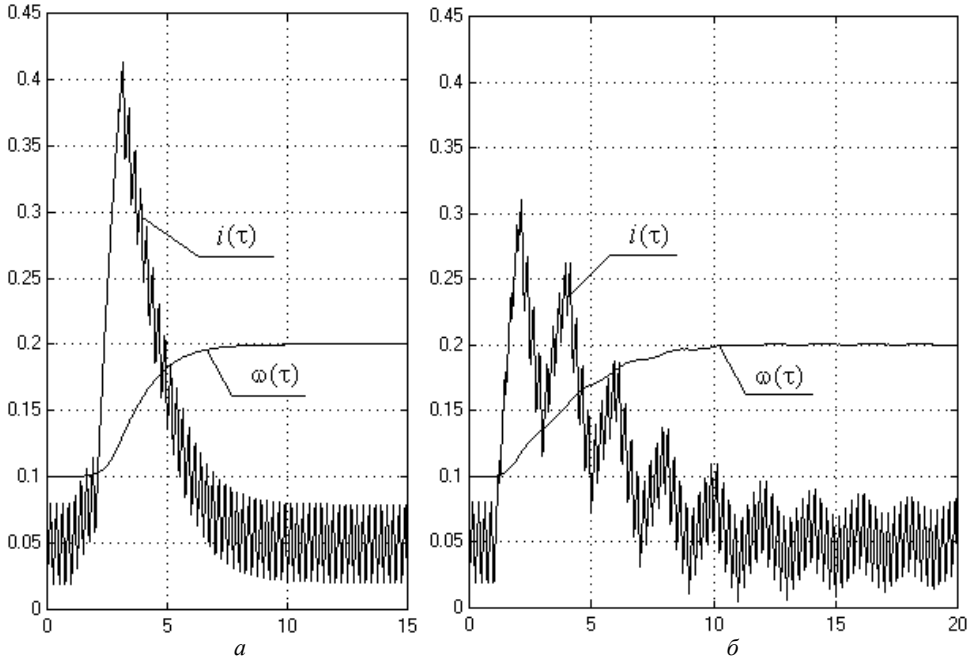


Рис. 4

2. Синтез микропроцессорных систем управления асинхронными электроприводами с применением метода полиномиальных уравнений / И. Я. Браславский, А. М. Зюзев, З. Ш. Ишматов, С. И. Шилин // Электротехника. 1998. № 6. С. 20–24.

3. Залялеев С. Р. Проектирование микропроцессорных регуляторов промышленных электроприводов : учеб. пособие / Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 1995.

4. Залялеев С. Р., Пахомов А. Н. Уравнения состояния микропроцессорной системы электропривода постоянного тока с учетом чистого запаздывания в канале управления // Изв. вузов. Электромеханика. 2002. № 3. С. 35–41.

5. Залялеев С. Р., Пахомов А. Н. Математическое описание объекта управления цифровой системы с двумя периодами дискретности и запаздыванием // Оптимизация режимов работы систем электроприводов : межвуз. сб. науч. тр. / отв. ред. С. Р. Залялеев ; Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 2002. С. 157–168.

6. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления : пер. с англ. М. : Машиностроение, 1986.

A. N. Pakhomov, M. V. Krivenkov, V. I. Ivanchura

MODAL REGULATORS OF THE DIRECT CURRENT ELECTRIC DRIVE WITH THE PULSE-WIDTH CONVERTER

The synthesis technique of modal regulators of instantaneous coordinates values of direct current digital electric drives with the pulse-width converter via state-space method in view of a variable pure delay influence in the control channel is given in this article.

Keywords: modal regulator, direct current electric drive, pulse-duration converter.

© Пахомов А. Н., Кривенков М. В., Иванчура В. И., 2010

УДК 621.314

Д. В. Капулин, И. С. Коростелева, Д. А. Пупаева

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ*

Рассмотрены методы расчета параметров источников вторичного электропитания (ИВЭП): выпрямительных устройств и импульсных стабилизаторов напряжения. Разработаны алгоритмы расчета параметров силовых цепей ИВЭП.

Ключевые слова: источники вторичного электропитания, алгоритмы расчета параметров источников вторичного электропитания.

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) являются неотъемлемой частью любого радиоэлектронного комплекса. Современные ИВЭП радиоэлектронной аппаратуры вышли за рамки класса простейших радиоэлектронных устройств, содержащих незначительное количество элементов, какими они были 25–30 лет назад. В настоящее время средства вторичного электропитания представляют собой достаточно сложные устройства, которые содержат большое количество разнообразных функциональных узлов, выполняющих те или иные функции преобразования электрической энергии и улучшения ее качества. При этом постоянно возрастают требования к характеристикам проектируемых ИВЭП с одновременным сокращением времени на их проектирование.

Постановка задачи. Аналитический расчет параметров выпрямительных устройств и стабилизаторов напряжения представляет значительную трудность при использовании неавтоматизированного подхода. Существующие системы автоматизированного расчета схем ИВЭП позволяют с достаточной для инженерной практики точностью определить основные параметры проектируемой схемы. Но такие программные средства создаются с учетом особенностей определенного класса схем, например конкретных типов выпрямителей, стабилизаторов, преобразователей и других устройств [1].

В данной статье будет проведено исследование методов расчета основных схем выпрямительных устройств и импульсных стабилизаторов напряжения, а также разработка алгоритмов для дальнейшей программной реализации, что позволит осуществлять расчет параметров основных типов ИВЭП (выпрямительных устройств и стабилизаторов напряжения) радиоэлектронной аппаратуры без применения иных программных средств.

* Работа выполнена в рамках программы поддержки молодых ученых Сибирского федерального университета.

Методы и алгоритмы расчета параметров источников вторичного электропитания. Назначение выпрямительного устройства состоит в преобразовании переменного напряжения питающей сети в постоянное, которое используется для питания всевозможных электронных устройств. Проектирование выпрямителя сводится к выбору схемы (рис. 1, 2) и типа вентилей, расчету их режима, эффективных значений токов и напряжений обмоток трансформатора и определению параметров сглаживающего фильтра.

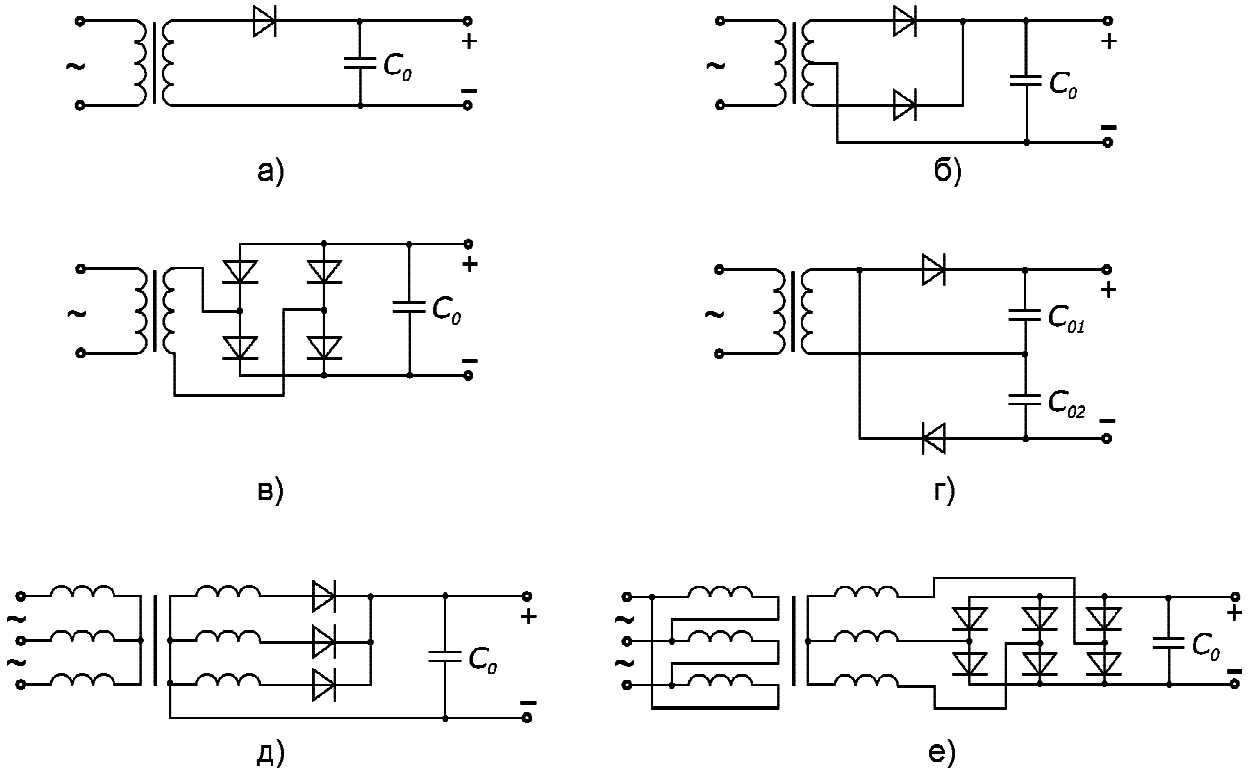


Рис. 1. Схемы выпрямителей, работающих на емкость: *а* – однополупериодная схема; *б* – двухполупериодная схема; *в* – двухполупериодная мостовая схема; *г* – схема удвоения напряжения; *д* – трехфазная схема; *е* – шестифазная схема Ларионова

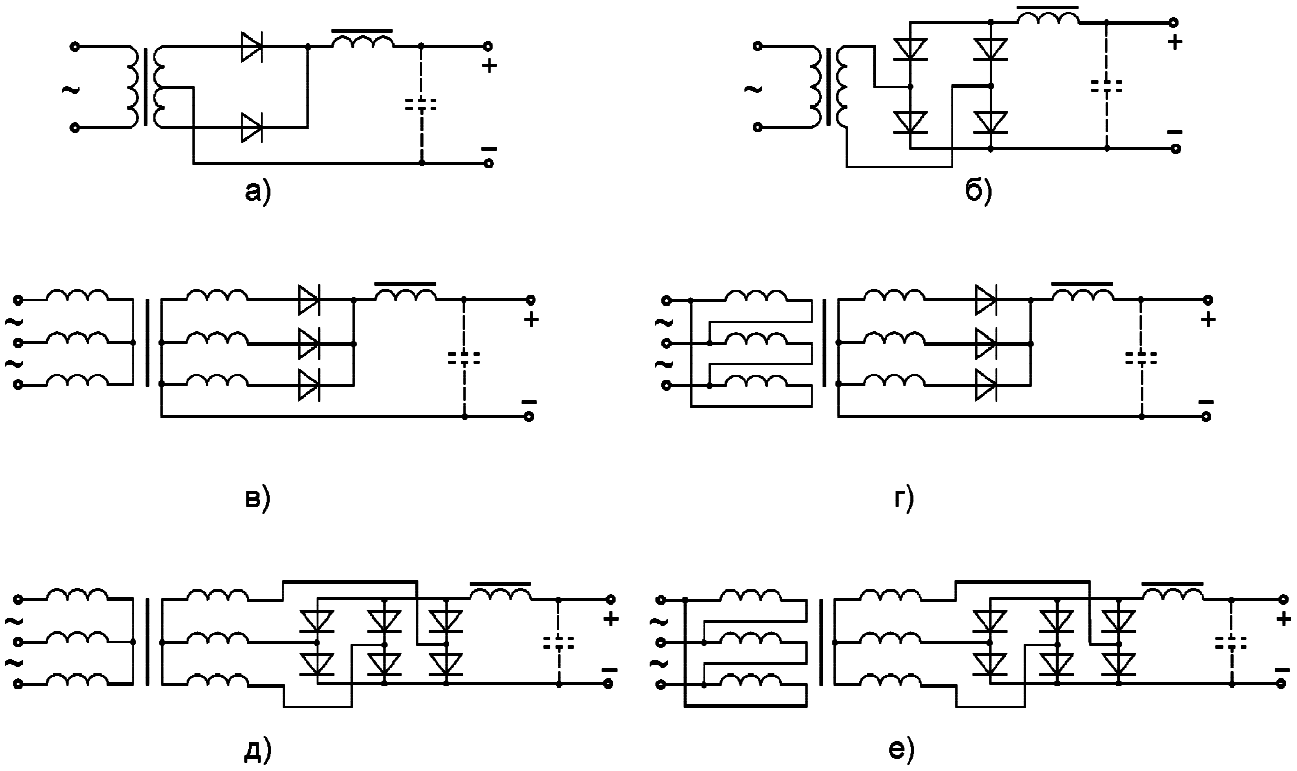


Рис. 2. Схемы выпрямителей, работающих на индуктивность: *а* – двухполупериодная схема; *б* – двухполупериодная мостовая схема; *в* – трехфазная схема; *г* – трехфазная схема; *д* – шестифазная схема Ларионова; *е* – шестифазная схема Ларионова

Как правило, все блоки (элементы) выпрямительного устройства должны рассчитываться комплексно, так как каждый последующий блок существенным образом влияет на режим работы предыдущего и последующего блоков схемы. Например, сглаживающий фильтр резко меняет режим работы и расчетные соотношения токов и напряжений в цепи вентилей и трансформаторе. Тем не менее во многих случаях предпочтительнее рассчитывать каждый блок устройства по отдельности, оговаривая и учитывая, в какой мере сказывается взаимное влияние режимов работы остальных блоков схемы, а также используя данные расчета одного блока в качестве исходных данных расчета для последующего и предыдущего блоков. Например, в результате расчета выпрямителя получаются исходные данные для расчета трансформатора и сглаживающего фильтра, а при расчете сглаживающего фильтра можно найти необходимые данные для расчета выпрямителя и стабилизатора напряжения.

Исходными данными для расчета являются требуемые значения выходного тока и напряжения при заданных допустимых значениях коэффициента пульсации. При этом также учитываются условия питания выпрямителя, заданные дополнительные эксплуатационные требования и свойства выпрямительного устройства. В процессе расчета отдельных блоков приходится сопоставлять получаемые данные с теми, которые известны или получены при расчете предшествующих блоков.

Методика расчета того или иного выпрямительного устройства зависит от режимов работы этого устройства и его типа [1–4].

В настоящее время для питания радиоэлектронной аппаратуры широкое применение находят выпрямительные устройства с индуктивной и емкостной реакцией нагрузки.

Для расчета выпрямителей с емкостной реакцией нагрузки используется метод, основанный на приближенных графоаналитических вычислениях. Необходимы следующие исходные данные:

– выпрямленное напряжение E_0;
– выпрямленный ток I_0;
– коэффициент пульсаций $a_{п0}$;
– напряжение питающей сети $U_с$;
– частота напряжения f.

Методика расчета для типовых схем одинакова. Для автоматизации удобно применять методику, приведенную в [1]. При расчете каждой схемы в формулах применяются различные коэффициенты $К_i$, которые имеют определенное значение для данной схемы. Значения этих коэффициентов можно взять в [1].

После выбора схемы необходимо оценить вентили по формуле

$$I_{0в} = К_1 I_0, \tag{1}$$

где $I_{0в}$ – средний прямой ток диода.

Для расчета обратного напряжения и импульсного тока диода есть приближенные формулы, но после расчета трансформатора можно получить их точные значения.

Расчет трансформатора начинается с определения индукции $B_т$. Для программной реализации используется аппроксимирующая формула

$$B_т = 1{,}2 - 0{,}4 \cdot \sin(0{,}003 \cdot E_0 I_0). \tag{2}$$

После этого вычисляются сопротивление фазы вторичной обмотки

$$r_т = К_2 \cdot \frac{E_0}{I_0 f B_т} \cdot \sqrt[4]{\frac{f B_т}{E_0 I_0}} \tag{3}$$

и активное сопротивление фазы выпрямителя

$$r = К_8 R_i + r_т, \tag{4}$$

где $R_i \approx 0{,}2/I_{0в}$ – внутреннее сопротивление вентилей.

Далее определяется вспомогательный параметр

$$A_0 = \operatorname{tg}\Theta - \Theta = \frac{\pi r I_0}{К_3 E_0}. \tag{5}$$

Решение трансцендентного уравнения $\operatorname{tg}\Theta - \Theta = A_0$ позволяет найти угол отсечки тока Θ. При программной реализации для этого используется численный метод деления отрезка пополам.

Затем вычисляются ЭДС вторичной обмотки трансформатора

$$U_{2x} = \frac{К_4 E_0}{\sqrt{2}\cos\Theta}, \tag{6}$$

вспомогательный коэффициент

$$D_0 = \frac{\sqrt{\pi[\Theta(1 + 0{,}5\cos 2\Theta) - 0{,}75\sin 2\Theta]}}{\sin\Theta - \Theta\cos\Theta}, \tag{7}$$

эффективный ток вторичной обмотки

$$I_2 = К_5 D_0 I_0 \tag{8}$$

и эффективный ток первичной обмотки

$$I_1 = \frac{К_{10} I_0 U_{2x}}{U_с}, \tag{9}$$

а также габаритная мощность трансформатора

$$P_{габ} \approx К_7 P_0 = К_7 E_0 I_0. \tag{10}$$

Далее определяются параметры диодов:

– обратное напряжение диода

$$U_{обр} = К_9 U_{2x}; \tag{11}$$

– эффективный ток диода

$$I_в = К_6 I_2; \tag{12}$$

– вспомогательный коэффициент

$$F_0 = \frac{\pi(1 - \cos\Theta)}{\sin\Theta - \Theta\cos\Theta}; \tag{13}$$

– импульсный ток диода

$$I_м = \frac{F_0 I_0}{К_3}; \tag{14}$$

– мощность, выделяемая на одном вентиле при протекании тока в прямом направлении,

$$P_в \approx \frac{I_в^2 \cdot 0{,}2}{I_{0в}}. \tag{15}$$

Требуемое значение емкости конденсатора фильтра вычисляется по формуле

$$C_0 = \frac{H_ф}{r \cdot a_{п0} \cdot f}, \tag{16}$$

где $H_ф$ – вспомогательный коэффициент, зависящий от угла Θ и от числа фаз выпрямления (коэффициента $К_3$) [1]. При К = 3

$$H_ф = 25\,330 \cdot (2\Theta - \sin 2\Theta) \cdot \cos\Theta, \tag{17}$$

при $К_3 > 1$

$$H_ф = 101\,000 \times$$

$$\times \frac{[\sin(K_3\Theta)\cdot\cos\Theta - К_3\cdot\cos(К_3\Theta)\cdot\sin\Theta]}{К_3\cdot(К_3^2-1)\cdot\cos\Theta}. \quad (18)$$

Для расчета внутреннего сопротивления выпрямителя необходимо определить промежуточную точку нагрузочной характеристики:

$$E = \frac{U_{2x}\sqrt{2}\cos\Theta}{К_4}, \quad (19)$$

$$I = 0{,}45\cdot\frac{К_3 U_{2x}\cdot(\sin\frac{\Theta}{2} - \frac{\Theta}{2}\cdot\cos\frac{\Theta}{2})}{К_4\cdot r}. \quad (20)$$

Тогда внутреннее сопротивление выпрямителя

$$R_в = \frac{E - E_0}{I_0 - I}. \quad (21)$$

Расчет выпрямителей с индуктивной реакцией нагрузки аналогичен расчету выпрямителей с емкостной реакцией. Требуются следующие исходные данные:

– выпрямленное напряжение E_0;
– выпрямленный ток I_0;
– коэффициент пульсации на выходе фильтра $a_{п1}$;
– напряжение питающей сети U_l;
– частота напряжения f.

Коэффициенты $К_i$, используемые в формулах, приведены в [1].

Расчет начинается с определения параметров трансформатора индукции $B_т$, сопротивления $r_т$ трансформатора, а затем индуктивности рассеяния трансформатора:

$$L_S = К_{13}\cdot\frac{E_0}{I_0 f B_т}\cdot\frac{1}{\sqrt[4]{\frac{f B_т}{E_0 I_0}}}. \quad (22)$$

Тогда выпрямленное напряжение при холостом ходе

$$E_{0x} = E_0 + \Delta E_r + \Delta E_x + \Delta E_{в.\,сх} + \Delta E_{др}, \quad (23)$$

где падение напряжения на активном сопротивлении трансформатора $\Delta E_r = К_2 I_0 r_т$, на реактивном – $\Delta E_x = К_3 I_0 f L_S$, на вентилях в схеме – $\Delta E_{в.\,сх} = К_4 \Delta E_в \approx К_4\cdot 0{,}6$, на дросселе $\Delta E_{др} \approx 0{,}005\cdot E_0$.

Затем необходимо найти ЭДС вторичной обмотки трансформатора

$$U_{2x} = К_6 E_{0x}, \quad (24)$$

эффективный ток вторичной обмотки

$$I_2 = К_7 I_0, \quad (25)$$

эффективный ток первичной обмотки

$$I_1 = К_{14} I_0 n, \quad (26)$$

где $n = U_{2x}/U_l$ – коэффициент трансформации, а также габаритную мощность трансформатора

$$P_{габ} = К_9 E_{0x} I_0. \quad (27)$$

Далее определяются параметры диодов:

– обратное напряжение диода

$$U_{обр} = К_5 U_{2x}; \quad (28)$$

– средний прямой ток диода

$$I_{0в} = К_1 I_0; \quad (29)$$

– импульсный прямой ток $I_м = I_0$;
– рассеиваемая диодом мощность

$$P_в = \Delta E_в\cdot I_{0в} \approx 0{,}6\cdot I_{0в}. \quad (30)$$

Затем вычисляется минимальная индуктивность дросселя:

$$L_{др\,min} = \frac{2E_0}{(К_3^2-1)К_3\pi f I_0}. \quad (31)$$

Тогда емкость фильтра

$$C = \frac{q_п\cdot 10^6}{К_3^2\cdot 4\pi^2 f^2 L_{др\,min}}, \quad (32)$$

где $q_п = a_{п0}/a_{п1} = К_{10}/a_{п1}$, здесь $a_{п0}$ – коэффициент пульсаций на входе фильтра (постоянный для данной схемы).

Рабочее напряжение конденсаторов должно быть рассчитано на холостой ход выпрямителя, т.е. $U_{раб} \geq E_{0xC} > 0 = К_{11} U_{2x}$, где $E_{0xC} > 0$ – выпрямленное напряжение холостого хода выпрямителя при $C > 0$.

Внутреннее сопротивление выпрямителя

$$R_в = \frac{E_{0x} - E_0}{I_0}. \quad (33)$$

Критическая точка нагрузочной характеристики определяется по формулам

$$I_{0кр} = \frac{E_0}{(К_3^2-1)К_3\pi f L_{др\,min}}, \quad (34)$$

$$U_{0кр} = E_0 + (I_0 - I_{0кр})\cdot R_в. \quad (35)$$

Расчет выпрямителей, питаемых напряжением прямоугольной формы, проводится по методике [1]. Исходные данные для расчета следующие:

– выпрямленное напряжение E_0;
– выпрямленный ток I_0;
– коэффициент пульсации $a_п$;
– напряжение питающей сети U_l;
– частота напряжения f;
– скважность β.

Ниже приводится обобщенная методика расчета в случае индуктивной и емкостной реакции нагрузки. Различие при расчете для этих типов реакции нагрузки (за небольшим исключением) состоит в различных коэффициентах $К_i$ в формулах. Некоторые из этих коэффициентов зависят от значения скважности β, поэтому желательно вычислить их до начала основных расчетов. Значения и формулы для расчета коэффициентов представлены в [1]. Остальные отличия между расчетами для емкостной и индуктивной реакций нагрузки указаны по ходу изложения.

Сначала определяется сопротивление трансформатора

$$r_т = К_1\cdot\sqrt{\frac{1{,}2\cdot E_0}{f I_0^3}}. \quad (36)$$

После этого находятся ЭДС вторичной обмотки

$$U_{2x} = К_2 E_0 + К_3 r_т I_0 + К_4, \quad (37)$$

габаритная мощность трансформатора

$$P_{габ} = 1{,}1\cdot U_{2x} I_0 К_5, \quad (38)$$

эффективный ток вторичной обмотки

$$I_2 = I_0\sqrt{К_6\beta} \quad (39)$$

и эффективный ток первичной обмотки

$$I_1 = 1{,}1\cdot К_7 I_0 n, \quad (40)$$

где $n = U_{2x}/U_1$ – коэффициент трансформации.

Затем определяются параметры диодов:

– обратное напряжение диода

$$U_{обр} = 2 \cdot К_8 U_{2x}; \quad (41)$$

– средний прямой ток диода для выпрямительного устройства с индуктивной реакцией нагрузки

$$I_{0в} = \frac{I_2}{2}, \quad (42)$$

с емкостной реакцией нагрузки

$$I_{0в} = \frac{I_0 К_9}{2}; \quad (43)$$

– импульсный прямой ток диода

$$I_м = I_0 \beta К_9; \quad (44)$$

– рассеиваемая диодом мощность

$$P_в = К_{10} I_0. \quad (45)$$

Емкость конденсатора фильтра при индуктивной реакции нагрузки вычисляется по формуле

$$C = \frac{10^7 \cdot I_0}{4\pi^3 a_п E_0 f}, \quad (46)$$

при емкостной реакции нагрузки – по формуле

$$C = \frac{К_9 I_0 \cdot К_9 \beta \cdot \sin\left(\frac{\pi}{К_9 \beta}\right) \cdot 10^5}{2 a_п E_0 f}. \quad (47)$$

При расчете выпрямителя с индуктивной реакцией нагрузки необходимо еще рассчитать индуктивность дросселя

$$L_{др} = 0{,}1 \cdot \frac{E_0 \beta \sin\frac{\pi}{\beta}}{I_0 f} \quad (48)$$

и внутреннее сопротивление выпрямителя

$$R_в = \frac{U_{2x} - E_0}{I_0} \cdot \frac{2}{К_4}. \quad (49)$$

Импульсные стабилизаторы напряжения (ИСН) наряду с выпрямителями также находят широкое применение при питании РЭА. Преимуществами ИСН по сравнению со стабилизаторами непрерывного действия являются высокий КПД, малые габариты и масса, высокая удельная мощность, что обусловливает широкое применение ИСН при создании систем электропитания автономных объектов. Силовые цепи ИСН приведены ниже (рис. 3–5).

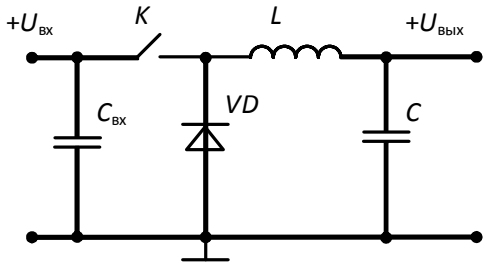


Рис. 3. ИСН понижающего типа

Существуют различные методики расчета параметров силовых цепей ИСН [1; 4]. Исходные данные для расчета ИСН следующие:

– входное напряжение $E_{вх}$;

– выходное напряжение E_0;

– рабочая частота f;

– напряжение пульсаций U_p;

– коэффициент пульсации $a_п$;

– минимальный I_{min} и номинальный I_0 токи нагрузки.

Методика расчета силовых цепей ИСН представлена в таблице. Кроме указанных в ней параметров еще необходимо определить емкость фильтра, которая для каждого типа стабилизатора вычисляется по-своему. Ее расчет можно начинать после определения критической индуктивности дросселя L.

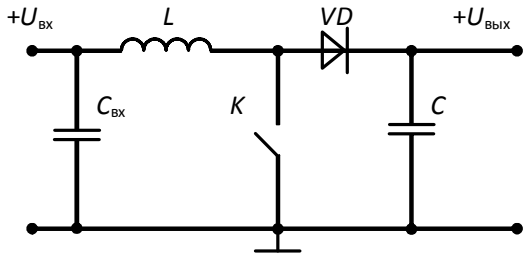


Рис. 4. ИСН повышающего типа

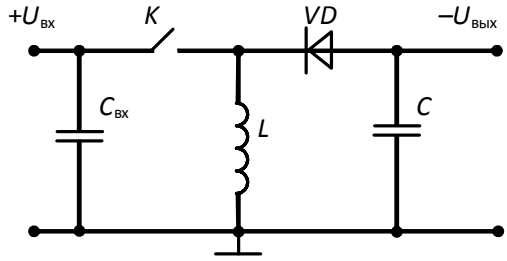


Рис. 5. ИСН инвертирующего типа

Для понижающего ИСН метод расчета следующий. Сначала определяется коэффициент сглаживания фильтра Q:

$$Q = \frac{E_0 \cdot \left[2{,}2 - 2{,}5 \cdot \left(\frac{E_0}{E_{вх}} - 0{,}1\right)\right]}{U_p}. \quad (50)$$

Затем находится произведение индуктивности на емкость фильтра

$$X(N) = \frac{25 \cdot (Q^{\frac{1}{N}} + 2)}{f^2}, \quad (51)$$

где N – количество звеньев фильтра. Тогда емкость фильтра

$$C(N) = \frac{X(N)}{L}. \quad (52)$$

Амплитуду напряжения пульсаций можно вычислить как

$$U_{p\max}(N) = U_p \cdot Q^{\left(1 - \frac{1}{N}\right)}. \quad (53)$$

Для повышающего ИСН емкость фильтра определяется по формуле

$$C = \frac{10^6 \cdot I_0 (E_0 - E_{вх})}{f \cdot E_0 U_p}, \quad (54)$$

для инвертирующего ИСН

$$C = \frac{10^6 \cdot I_0 E_0}{f(E_{вх} + E_0)U_p}, \qquad (55)$$

для входного конденсатора фильтра

$$C_{вх} = \frac{10^6 \cdot I_0 E_0}{f a_п E_{вх}(E_{вх} + E_0)}. \qquad (56)$$

Вычислительные процедуры (1)…(56) использовались при разработке алгоритмов расчета параметров выпрямителей и импульсных стабилизаторов напряжения (рис. 6–9).

Алгоритмы расчета выпрямительных устройств предусматривают ряд ограничений на входные данные, при соблюдении которых будет получен результат, имеющий достаточную степень точности. Диагностика введенных данных на их корректность осуществляется после процедуры ввода.

На входные данные накладываются следующие ограничения:

– недопустимы отрицательные числа;

– выходная мощность $E_0 I_0$ не должна превышать 500 Вт;

– выходное напряжение E_0 – не менее 3 В;

– частота напряжения f – не более 5 кГц;

– для двухполупериодных трехфазных схем коэффициент пульсаций $a_{п0}$ должен быть меньше 0,07.

При наличии в исходных данных отрицательных чисел выдается ошибка и дальнейший расчет будет невозможен. Если нарушено какое-либо другое условие, то будет выдано предупреждение о снижении точности результата и задан вопрос о необходимости продолжения расчета.

В алгоритме расчета параметров импульсных стабилизаторов напряжения после ввода исходных данных также осуществляется их проверка на корректность по следующим условиям:

– в исходных данных недопустимы отрицательные числа;

– для понижающего ИСН входное напряжение $E_{вх}$ должно быть больше выпрямленного напряжения E_0;

– для повышающего ИСН входное напряжение $E_{вх}$ должно быть меньше выпрямленного напряжения E_0.

При нарушении любого из этих условий выдается сообщение об ошибке, и дальнейший расчет проводится не будет.

Таким образом, в данной статье представлены обобщенные методики расчета параметров силовых цепей для каждого из основных видов источников вторичного электропитания. Главными определяемыми параметрами выпрямительных устройств являются параметры трансформатора, диодов, фильтра, внутреннее сопротивление выпрямителя, для импульсных стабилизаторов напряжения – параметры дросселя, диода, транзистора, фильтра.

На основе разработанных методик составлены алгоритмы расчета выпрямительных устройств и импульс-

Методика расчета параметров силовых цепей импульсных стабилизаторов напряжения

Определяемый параметр	Тип ИСН		
	Понижающий	Инвертирующий	Повышающий
Критическая индуктивность дросселя L	$\frac{500 \cdot E_0(E_{вх} - E_0)}{f I_0 E_{вх}}$	$\frac{500 \cdot E_0 E_{вх}^2}{f I_{min}(E_{вх} + E_0)^2}$	$\frac{500 \cdot E_{вх}^2(E_0 - E_{вх})}{f I_{min} E_0^2}$
Средний ток дросселя $I_{др}$	I_0	$I_0(E_{вх} + E_0)/E_{вх}$	$I_0 E_0 / E_{вх}$
Переменная составляющая тока дросселя $I_{др\sim}$	$\frac{E_0(E_{вх} - E_0)}{2f E_{вх} L}$	$\frac{E_{вх} E_0}{2f(E_{вх} + E_0) L}$	$\frac{E_{вх}(E_0 - E_{вх})}{2f E_0 L}$
Амплитуда коллекторного тока $I_{к\,max}$	$I_{др} + I_{др\sim}$		
Эффективный ток коллектора $I_к$	$I_0\sqrt{\frac{E_0}{E_{вх}}}$	$\frac{I_0}{E_{вх}}\sqrt{E_0(E_0 + E_{вх})}$	$\frac{I_0}{E_{вх}}\sqrt{E_0(E_0 - E_{вх})}$
Напряжение коллектор–эмиттер $U_{к.э}$	$E_{вх}$	$E_{вх} + E_0$	E_0
Мощность, рассеиваемая транзистором $P_{тр}$	$I_к\left(0{,}07 \cdot E_{вх} + \frac{2E_0}{E_{вх}}\right)$	$I_к\left(0{,}07 \cdot (E_{вх} + E_0) + \frac{2 \cdot E_0}{E_{вх} + E_0}\right)$	$\frac{I_к E_0 \cdot (0{,}07 \cdot E_{вх} + 2)}{E_{вх}}$
Средний ток диода $I_д$	$I_0 \frac{E_{вх} - E_0}{E_{вх}}$	I_0	I_0
Обратное напряжение диода $U_{обр}$	$E_{вх}$	$E_{вх} + E_0$	E_0
Мощность, рассеиваемая диодом $P_д$	$0{,}8 \cdot I_д \frac{E_{вх} - E_0}{E_{вх}}$	$0{,}8 \cdot I_0 \frac{E_{вх}}{U_{обр}}$	
Входной ток стабилизатора $I_{вх}$	$\frac{E_0 I_0 + P_{тр} + P_д}{E_{вх}}$		
КПД η	$\frac{E_0 I_0}{E_{вх} I_{вх}}$		

ных стабилизаторов напряжения, которые имеют достаточную для инженерной практики точность (отклонение результатов расчета с использованием программного приложения не превышает 5…7 % по сравнению с ручным расчетом для любого из рассмотренных устройств), что подтверждено моделированием в программной среде MathCAD. Использование этих алгоритмов позволит резко сократить сроки проектирования радиоэлектронных устройств и снизит общее количество ошибок проектировщиков за счет автоматизации выполнения рутинных операций расчета параметров выпрямителей и импульсных стабилизаторов напряжения различных типов.

Библиографические ссылки

1. Кожарский Г. В., Орехов В. И. Методы автоматизированного проектирования источников вторичного электропитания. М. : Радио и связь, 1985.

2. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры : справочник / под ред. Г. С. Найвельта. М. : Радио и связь, 1985.

3. Источники вторичного электропитания / под ред. Ю. И. Конева. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Радио и связь, 1990.

4. Моин В. С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. М. : Энергоатомиздат, 1986.

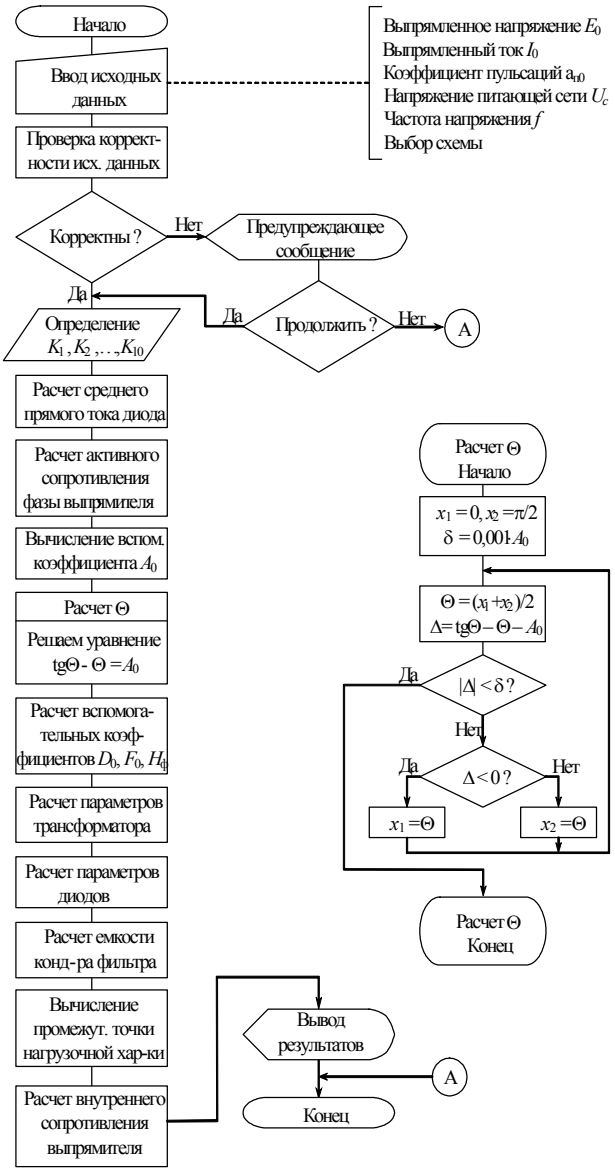


Рис. 6. Алгоритм расчета параметров выпрямителя с емкостной реакцией нагрузки

Рис. 7. Алгоритм расчета параметров выпрямителя с индуктивной реакцией нагрузки

Рис. 8. Алгоритм расчета счета параметров выпрямителя, питаемого напряжением прямоугольной формы

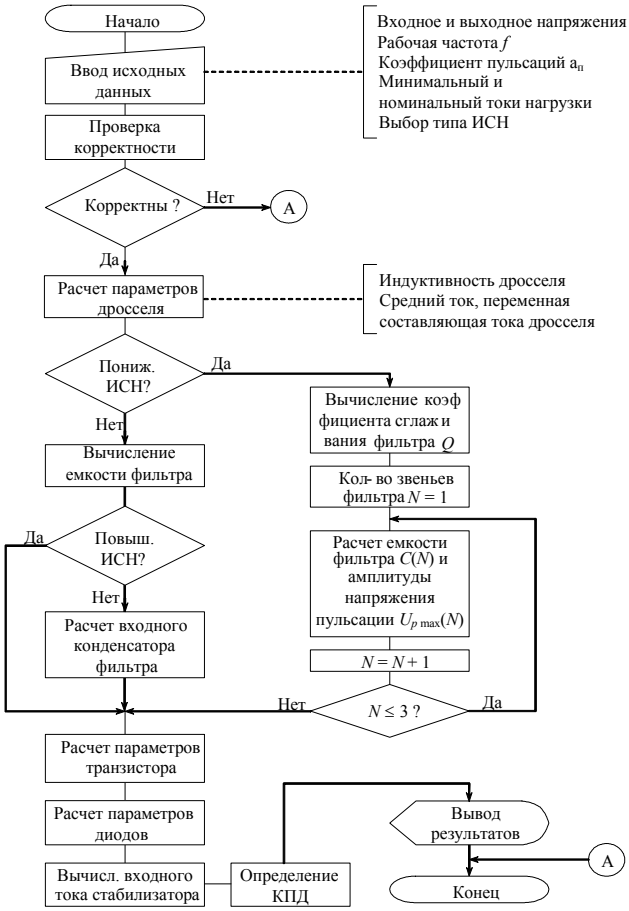


Рис. 9. Алгоритм расчета параметров импульсного стабилизатора напряжения

D. V. Kapulin, I. S. Korosteleva, D. A. Pupaeva

METHOD OF AUTOMATIC CALCULATION OF THE PARAMETERS OF SECONDARY POWER SOURCES

The article describes the methods for calculating the parameters of secondary power sources (SPS): rectifying devices and voltage impulse stabilizer. The algorithms for calculating the parameters of power circuits SPS are developed.

Keywords: secondary power sources, the algorithms for calculating the parameters of secondary power sources.

© Капулин Д. В., Коростелева И. С., Пупаева Д. А., 2010

УДК 004.932.2

И. В. Тупицын

БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РАКУРСОВ ПО СТЕРЕОПАРЕ

Рассмотрен эффективный алгоритм стереореконструкции А. А. Лукьяницы. Предложена модификация данного алгоритма, позволяющая увеличить скорость его работы. Представлены результаты проведенных экспериментов.

Ключевые слова: стереоизображение, эпиполярная геометрия, соответствующие точки, диспарантность.

Одно из современных направлений представления видеоинформации связано с разработкой устройств, способных воспроизводить объемные изображения (многоракурсные дисплеи, проекционные системы). Для работы этих устройств необходимо получить заданное количество ракурсов воспроизводимой сцены, количество которых определяется конкретной задачей. Например, для комфортного просмотра видео бывает достаточно 4…6 ракурсов, тогда как для таких применений, как 3*D*-томография и рентгеноскопия, графические рабочие станции CAD/CAM, отображение оперативной обстановки для авиадиспетчерских, аварийно-спасательных служб и т. д., может понадобиться от 40 до 150 ракурсов. Известны специализированные устройства, обеспечивающие от двух (стереовидеокамеры) до восьми ракурсов сцены. Восьмиракурсная видеокамера применялась в прототипе многоракурсной телевизионной системы НИКФИ, а видеокамеру с бульшим числом ракурсов пока невозможно представить. Не менее проблематичной является запись и передача по каналам связи такого сигнала. Следовательно, возникает потребность в реконструкции необходимого числа промежуточных ракурсов, т. е. изображений, которые были бы получены аналогичной камерой, если бы она занимала промежуточные положения между камерами, используемыми при стереосъемке.

Большинство алгоритмов решают эту задачу в два этапа: первый этап – поиск соответствующих точек, т. е. точек на изображениях, соответствующих одной и той же области трехмерного пространства; второй этап – аппроксимация промежуточных ракурсов по найденным точкам. Как правило, если найдены все соответствующие точки, то аппроксимация промежуточных ракурсов не вызывает затруднений, поэтому основной задачей при реконструкции промежуточных ракурсов является поиск соответствующих точек.

В качестве примера рассмотрим работу простого алгоритма стереозрения (рис. 1). Он состоит из нескольких этапов:

1) в качестве текущей линии выбирается первая (верхняя) эпиполярная линия;

2) для текущей эпиполярной линии в качестве текущего выбирается самый левый пиксель;

3) текущий пиксель левого изображения сопоставляется с каждым пикселем правого изображения;

4) выбирается наиболее похожий по некоторой мере пиксель из правого изображения и записывается в массив соответствующих пикселей. Этот массив представляет собой двумерный целочисленный массив, индексами элементов которого являются позиции пикселей левого изображения, а значениями элементов – позиции соответствующих им пикселей правого изображения;

5) если текущий пиксель не последний в текущей строке, то следующий пиксель становится текущим пикселем и алгоритм переходит к п. 3. В противном случае переход к п. 6;

6) если текущая эпиполярная линия не последняя, то следующая эпиполярная линия становится текущей и алгоритм переходит к п. 2. В противном случае работа алгоритма завершается.

Результатом работы данного алгоритма является массив соответствующих пикселей. Используя этот массив, можно построить карту глубины или реконструировать промежуточные ракурсы.

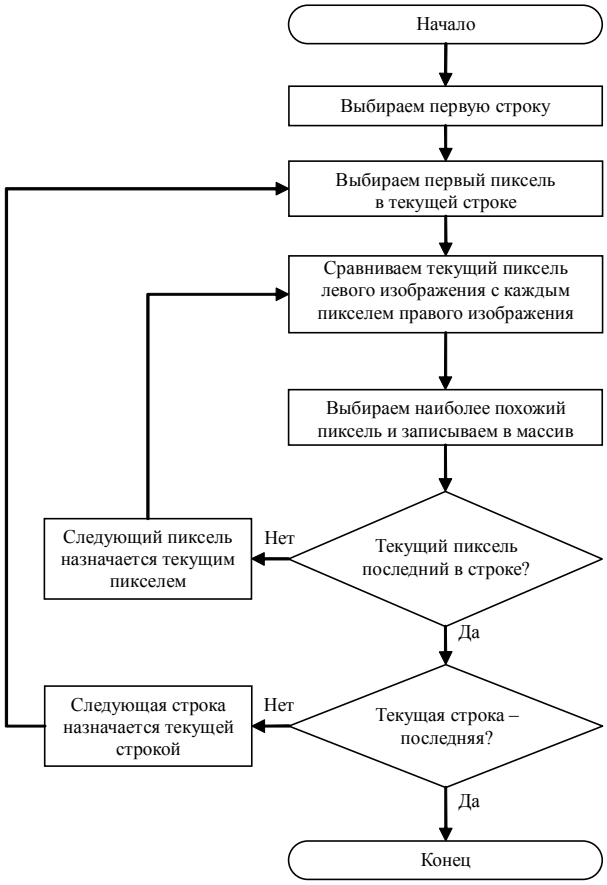


Рис. 1. Блок-схема работы простого алгоритма стереозрения

Реконструкция промежуточных ракурсов по методу А. А. Лукьяницы. Постановка задачи. Пусть нам дана стереопара, т. е. два изображения одной и той же сцены,

зафиксированные стереокамерой. Обозначим изображение, полученное левой камерой, буквой L, а изображение правой камеры – буквой R. Введем ортогональную систему координат, согласованную с камерами: ось x направим вправо через центры изображений, ось y – вниз вдоль вертикальной оси изображений, ось z дополнит их до правой тройки. Начало координат выберем таким образом, чтобы изображения находились в плоскости Oxy, а центры изображений были симметричны относительно плоскости Oyz (рис. 2). Сцена зарегистрирована двумя камерами: L и R. Следует построить промежуточный ракурс M.

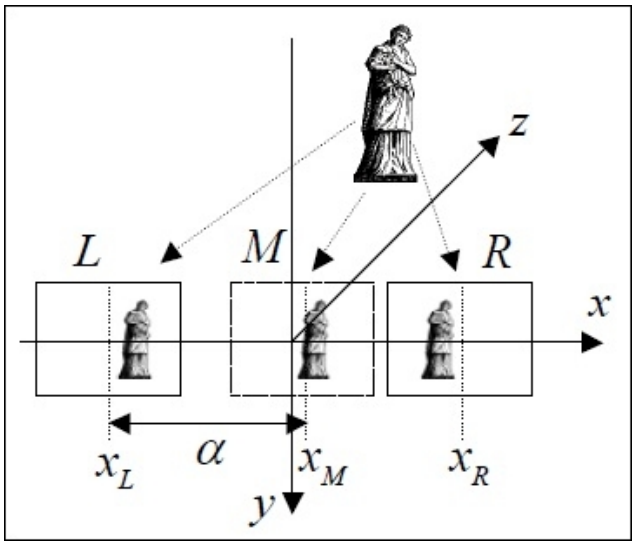


Рис. 2. Геометрия стереосъемки

Пусть центр левого изображения в выбранной системе координат имеет координаты $(x_L, 0, 0)$, а центр правого – $(x_R, 0, 0)$. Задача состоит в том, чтобы построить изображение в плоскости Oxy с центром в некоторой точке $(x_M, 0, 0)$, наиболее близкое к изображению, которое было бы получено камерой, оптическая ось которой проходит через точку $(x_M, 0, 0)$.

Метод А. А. Лукьяницы реализуется в два этапа [1]:

1) находятся сопряженные точки на левом и правом изображениях;

2) промежуточное изображение аппроксимируется по сопряженным точкам и заполняются области, для которых соответствие не является однозначным.

Алгоритм поиска сопряженных точек. Пусть каждое изображение содержит $K \times N$ пикселей по горизонтали и вертикали соответственно. Задача нахождения сопряженных точек состоит в следующем: для каждого пикселя левого изображения L_{ki}, $k = 1, \ldots, K$, $i = 1, \ldots, N$, следует найти пиксель R_{kj}, $j = 1, \ldots, N$, на правом изображении, соответствующий той же точке регистрируемой сцены. Предположим, что камеры установлены на одной горизонтали и имеют одинаковый коэффициент усиления. Тогда горизонтальные строки фотоприемников совпадают с эпиполярными линиями, поэтому сопряженные точки должны находиться на строках, имеющих одинаковый номер. Это позволяет записать следующее выражение для вычисления эпиполярных линий:

$$L(k, i) \approx R(k, j + \Delta_j),$$

где Δ_j – смещение, зависящее от номера пикселя.

Нахождение сопряженных точек состоит в вычислении смещений для всех пикселей. Далее для простоты будем опускать первый индекс, поскольку он имеет одно и то же значение для сравниваемых изображений, и подразумевать, что описываемый ниже процесс выполняется для каждой пары соответствующих строк на левом и правом изображениях.

Для нахождения подходящих кандидатов в сопряженные пиксели необходимо сравнивать области Ω в окрестности этих пикселей, что существенно повышает устойчивость алгоритма. Действительно, в изображениях одного и того же участка сцены под различными ракурсами могут появиться отличия, связанные со взаимным расположением источников света и элементов сцены. Кроме того, некоторые области могут быть видимы для одной камеры и невидимы для другой.

Пусть сравниваемая область Ω имеет размеры $k \times n$. Тогда в окрестности j-го пикселя на правом изображении следует просканировать область большего размера $m \times l$, $m \geq k$, $l > n$. В процессе сканирования вычисляется функция расстояния $d(i, j)$, характеризующая близость изображений, находящихся в окрестности Ω_i пикселя $L(i)$ и в окрестности Ω_j пикселя $R(j)$. В качестве функции расстояния обычно выбирается сумма разностей интенсивностей соответствующих пикселей из окресностей Ω_i и Ω_j:

$$d(i, j) = \sum_{m=-k/n}^{k/2} \sum_{l=-n/2}^{n/2} \left| L(k+m, i+l) - R(k+m, j+l) \right|,$$

или сравниваются градиенты изображений из Ω_i и Ω_j.

На практике лучше использовать сочетание этих методов, поскольку они имеют различную эффективность для разных типов изображений. Наиболее часто применяется метод сравнения интенсивностей, но при обработке изображений с однородными пространными объектами, как, например, стена дома, этот метод приводит к появлению плато у функции $d(i, j)$, что затрудняет выбор соответствующих точек. Метод сравнения разности градиентов в этом случае позволяет учесть более тонкие детали изображений.

Для выбора соответствующих точек из всех возможных претендентов нужно, чтобы были удовлетворены два условия. Во-первых, очевидно, что номера индексов соответствующих точек должны минимизировать суммарные отличия сравниваемых областей на левом и правом изображениях. Во-вторых, величина смещения не может уменьшаться по мере возрастания индекса j, т. е. $\Delta_j \geq \Delta_{j-1}$. Это условие следует из геометрических свойств стереопары. Для удовлетворения этих условий предлагается следующий алгоритм, основанный на методе динамического программирования.

Введем две вспомогательных функции: вещественную ψ и целочисленную P. Первая из них нужна для накопления суммарных отличий сравниваемых областей, вторая предназначена для хранения соответствующих индексов.

Алгоритм динамического программирования (рис. 3) состоит из трех этапов:

– инициализации:

$$\psi(i, 1) = d(i, 1), \quad i = 1, \ldots, N,$$
$$P(i, 1) = i, \quad i = 1, \ldots, N;$$

– индуктивного перехода:

$$\psi(i,j) = \min_{1\le k\le i}\psi(k,j-1) + d(i,j),$$

$$i = 2,...,N, \quad j = 1,...,N,$$

$$P(i,j) = \arg\min_{1\le k\le i}\psi(k,j-1),$$

$$i = 2,...,N, \quad j = 1,...,N;$$

– обратного хода:

$$J(N) = \arg\min_{1\le i\le N}\psi(i,N),$$

$$J(j) = P(J(j+1), j+1),$$

$$j = N-1,...,1.$$

В результате будет построен массив индексов для сопряженных точек J, по которому для любого пикселя левого изображения $L(i)$ сопряженный пиксель правого изображения определяется как $R(J(i))$.

Рассмотрим каждый шаг представленного алгоритма подробнее.

Процедура инициализации предназначена для задания начальных значений функций ш и P. Функция ш вычисляется как функция d между первым пикселем левого изображения в текущей строке и каждым из пикселей правого изображения в текущей строке, функция P – как индексы пикселей правого изображения.

Следующий этап алгоритма – индуктивный переход. На этом этапе вычисляются последующие значения функций ψ и P. Функция ψ накапливает суммарные значения сравниваемых областей, что повышает точность поиска сопряженных точек.

Завершающий этап алгоритма динамического программирования – обратный ход. На этом этапе заполняется массив сопряженных пикселей J. В качестве сопряженных для пикселей левого изображения выбираются те пиксели правого изображения, различия между которыми минимальны.

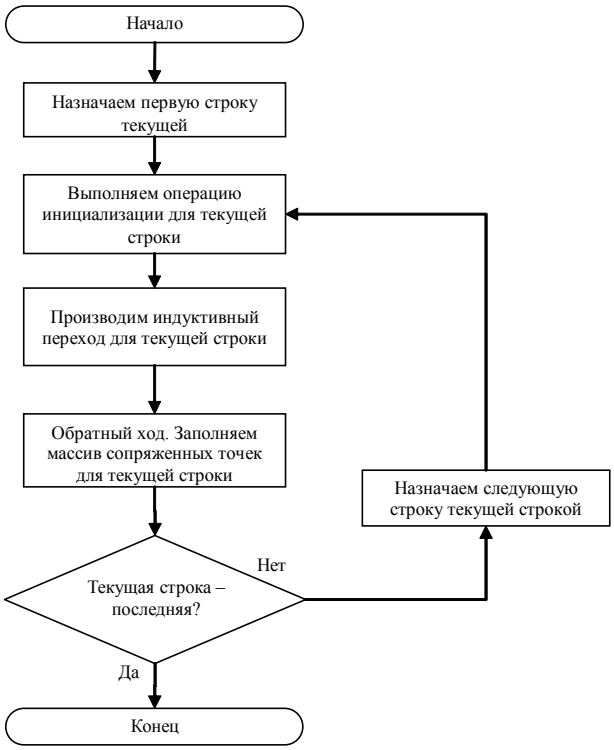


Рис. 3. Блок-схема работы алгоритма динамического программирования

Алгоритм динамического программирования производит обработку изображения построчно, что позволяет распараллелить вычисления. Это значительно ускорит процедуру стереореконструкции, однако следствием построчной обработки может стать эффект «гребенки», с которым данный алгоритм, к сожалению, не борется.

Аппроксимация промежуточных ракурсов. Введем параметр $\alpha = \dfrac{x_M - x_L}{x_M - x_R}$, который характеризует относительную степень близости восстанавливаемого ракурса к левому изображению. Далее для всех значений $i = 1, \ldots, N, j = 1, \ldots, N$ вычислим

$$k = [\alpha j + (1-\alpha)J(j)],$$

$$M(i,k) = \alpha L(i,j) + (1-\alpha)R(i,J(j)).$$

Из этих соотношений следует, что некоторые точки промежуточного ракурса могут оказаться незаполненными. Это происходит из-за того, что соответствующие фрагменты объекта трехмерной сцены видимы одной камерой и невидимы другой.

Пусть в реконструируемом изображении в какой-либо i-й строке оказались незаполненными идущие подряд пиксели с номерами $j_0, \ldots, j_0 + m$. Здесь возможны два случая:

1) если $J(j_0 - 1) = J(j_0 + m + 1)$, то эти пиксели видимы только левой камерой, поэтому они заполняются соответствующими значениями из левого изображения:

$$M(i,j) = L(i,j),$$

$$j = j_0, \ldots, j_0 + m;$$

2) если $J(j_0 - 1) < J(j_0 + m + 1)$, то эти пиксели видимы только правой камерой, поэтому они заполняются соответствующими значениями из правого изображения:

$$M(i,j) = L(i,J(j)),$$

$$j = j_0, \ldots, j_0 + m.$$

Увеличение скорости работы алгоритма. Хотя скорость работы алгоритма динамического программирования довольно высока, она все же может быть недостаточной для решения некоторых задач. Следовательно, необходимо найти способ увеличения скорости работы этого алгоритма.

Как правило, во всех алгоритмах стереозрения большую часть процессорного времени занимает вычисление функции расстояния для пикселей строки. Для того чтобы минимизировать затрачиваемое на это время, необходимо либо упростить саму функции, либо уменьшить количество пикселей, для которых она вычисляется. Возможен вариант уменьшения размера окна вокруг выбранных пикселей, но он не всегда дает хорошие результаты и применяется не для всех изображений.

Если упрощение функции расстояния не представляется возможным, то необходимо уменьшить количество вычислений этой функции. Усовершенствование рассмотренного выше алгоритма связано с введением дополнительной величины – максимального диспаритета D_{max}, т. е. максимальной разницы между смещением точки трехмерного пространства на левом и правом изображениях. Эта величина задается пользователем для каждой стерео-

пары. Ее значение можно вычислить, если известно расположение камер и расстояние от плоскости стереосъемки до максимально отдаленного объекта сцены.

Перепишем выражения, используемые на этапах инициализации, индуктивного перехода и обратного хода, с учетом параметра максимального диспаритета в следующем виде:

– инициализация:

$$\psi(i,1) = d(i,1), \quad i = 1, ..., N,$$

$$P(i,1) = i, \qquad i = 1, ..., N;$$

– индуктивный переход:

$$\psi(i,j) = \min_{D_{\max} \le k \le i} \psi(k, j-1) + d(i,j),$$

$$i = 2, ..., N, \quad j = 1, ..., N,$$

$$P(i,j) = \arg\min_{D_{\max} \le k \le i} \psi(k, j-1),$$

$$i = 2, ..., N, \quad j = 1, ..., N;$$

– обратный ход:

$$J(N) = \arg\min_{D_{\max} \le i \le N} \psi(i,N), \quad J(j) = P(J(j+1), j+1),$$

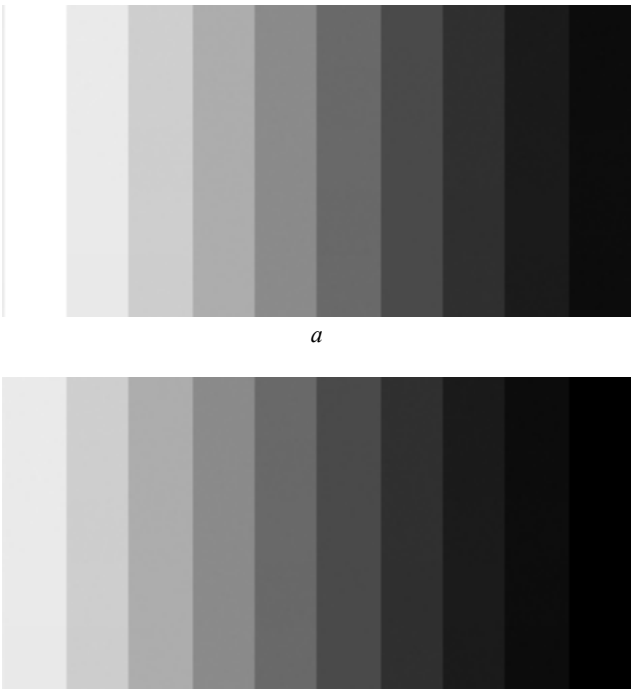
$$j = N-1, ..., 1.$$

В результате введенных изменений скорость работы алгоритма значительно возрастает, поскольку теперь нет необходимости вычислять значение функции расстояний для каждой пары пикселей в строке.

Рассматриваемые в данной статье алгоритмы (А. А. Лукьяницы и модифицированный) были реализованы на языке C++. В ходе проведенных экспериментов измерялось время поиска соответствующих точек одной строки для различных изображений и оценивались различия в результатах работы алгоритмов. Сравнение проводилось на тестовой стереопаре шириной 10 пикселей (рис. 4).

Анализ полученных данных (см. таблицу) показал, что модифицированный алгоритм имеет более высокую скорость работы. Однако при этом показатель количества правильно определенных соответствующих точек ухудшается на 2…6 % по сравнению с базовым алгоритмом А. А. Лукьяницы.

Таким образом, в данной статье был рассмотрен алгоритм стереореконструкции А. А. Лукьяницы и оценена скорость его работы. Предложена модификация этого алгоритма, увеличивающая скорость его работы. Модифицированный алгоритм был реализован на языке программирования высокого уровня C++. По результатам проведенных экспериментов было отмечено возрастание скорости работы усовершенствованного алгоритма при незначительном ухудшении качества стереореконструкции.



а

б

Рис. 4. Тестовая стереопара: *а* – левое изображение; *б* – правое изображение

Библиографическая ссылка

1. Лукьяница А. А. Эффективный алгоритм восстановления промежуточных ракурсов по стереопаре // Graphicon-2006 : материалы Междунар. конф. Новосибирск, 2006. С. 15–18.

Результаты экспериментов

Ширина изображений стереопары	Размер окна сравниваемых областей	Максимальный диспаритет	Выбранный алгоритм	Время работы алгоритма, с
472	5x5	–	Лукьяницы	0,343
		10	Модифицированный	0,047
		20		0,047
716		–	Лукьяницы	1,311
		20	Модифицированный	0,156
		40		0,265
3295		–	Лукьяницы	93,102
		40	Модифицированный	5,304
		100		11,949

I. V. Toupitsyn

FAST ALGORITHM FOR RECONSTRUCTION OF INTERMEDIATE VIEWS FROM STEREOPAIR

An effective algorithm for stereoreconstruction of A. A. Lukianitsa is considered in this article. An algorithm modification, allowing to increase the speed of the algorithm is suggested. The results of carried out experiments are presented as well.

Keywords: stereo image, epipolar geometry, corresponding points, disparity.

© Тупицын И. В., 2010

УДК 330.43

С. В. Вохмянин

ИСПЫТАНИЕ АЛГОРИТМА МЕТОДА «ГУСЕНИЦА-SSA» ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА

Рассмотрен базовый алгоритм метода «Гусеница-SSA» и проведены его испытания.

Ключевые слова: выделение тренда, нахождение периодик, устранение шума, разложение временного ряда на компоненты.

Одной из важнейших задач в анализе временных рядов является отделение тренда и периода от шума. Данная статья посвящена исследованию мощного и быстроразвивающегося метода анализа временных рядов «Гусеница-SSA» [1].

Рассмотрим временной ряд F:

$$f_0, f_1, ..., f_{N-1}, \quad (1)$$

где N – его длина. В дальнейшем будем предполагать, что ряд F – ненулевой.

Алгоритм метода «Гусеница-SSA» состоит из четырех последовательно выполняемых шагов: вложения, сингулярного разложения, группировки и диагонального усреднения.

На *первом шаге* процедура вложения переводит исходный временной ряд F в последовательность многомерных векторов, которая называется *траекторной матрицей*.

Для анализа временного ряда выбирается целочисленный параметр L, именуемый *длиной окна*, такой что $1 < L < N$. При этом образуется $K = N - L - 1$ векторов вложения:

$$X_i = (f_{i-1}, f_i, ..., f_{i+L-2})^T, \ 1 \le i \le K .$$

Эти векторы образуют траекторную матрицу ряда F, столбцами которой являются скользящие отрезки ряда длины L: с первой точки по L-ю, со второй по $(L + 1)$-ю и т. д.:

$$X = [X_1 : X_2 : ... : X_K] = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & \cdots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & \cdots & f_K \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f_{L-1} & f_L & \cdots & f_{N-1} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Существует взаимно однозначное соответствие между матрицами размерности $L \times K$ вида (2) и рядами (1) длины $N = L + K - 1$ [1].

Результатом *второго шага* является сингулярное разложение траекторной матрицы (2) в сумму элементарных матриц.

Пусть $S = X \cdot X^T$. Обозначим через $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_L$ собственные числа матрицы S, взятые в неубывающем порядке, а через $U_1, U_2, \ldots, U_L$ ортонормированную систему собственных векторов матрицы S, соответствующих упорядоченным собственным числам. Тогда сингулярное разложение траекторной матрицы X может быть записано следующим образом:

$$X = \sum V_i , \quad (3)$$

где $V_i = U_i \cdot U_i^T \cdot X$, $I = 1, \ldots, L$. Учитывая, что каждая из матриц V_i имеет ранг 1, назовем их элементарными матрицами [1].

Предположим, что исходный временной ряд является суммой нескольких рядов, что позволяет при некоторых условиях определить по виду собственных чисел и собственных векторов, какие это слагаемые и какой набор элементарных матриц соответствует каждому из них.

На *третьем шаге* на основе разложения (3) множество индексов $\{1, 2, \ldots, L\}$ делится на m непересекающихся подмножеств $I_1, I_2, \ldots, I_m$. Тем самым разложение (3) может быть записано в виде

$$X = \sum_{i=1}^{m} Y_i , \quad (4)$$

где $Y_i = \sum_{k \in I_i} V_k$ – результирующие матрицы для каждого подмножества I_i, $I = 1, \ldots, m$.

Фактически именно на этом шаге происходит разделение исходного ряда (1) на шумы, тренд и периодики. Основным критерием группировки является значимость

каждой элементарной матрицы V_k, прямо соответствующая ее собственному числу λ_k.

На *четвертом шаге* алгоритма каждая матрица сгруппированного разложения (4) переводится в ряд длины N.

Положим $L^* = \min(L, K)$, $K^* = \max(L, K)$. Пусть также $y^*_{ij} = Y_{ij}$, если $L < K$, и $y^*_{ij} = Y_{ji}$, если $L > K$. Диагональное усреднение переводит каждую результирующую матрицу $Y^{(s)}$, $s = 1, 2, \ldots, m$, в ряд $\tilde{f}^{(s)}$ по следующей формуле:

$$\tilde{f}_k = \begin{cases} \dfrac{1}{k+1}\sum\limits_{n=1}^{k+1} y^*_{n,k-n+2}, & 0 \le k < L^* - 1, \\ \dfrac{1}{L^*}\sum\limits_{n=1}^{L^*} y^*_{n,k-n+2}, & L^* - 1 \le k < K^*, \\ \dfrac{1}{N-k}\sum\limits_{n=k-K^*+2}^{N-K^*+1} y^*_{n,k-n+2}, & K^* \le k < N. \end{cases} \quad (5)$$

Эта формула соответствует усреднению элементов вдоль диагоналей $I + j = k + 2$.

Итак, применяя диагональное усреднение (5) к результирующим матрицам $Y^{(s)}$, получаем ряды $\tilde{F}^{(s)} = (\tilde{f}_0^{(s)}, \tilde{f}_1^{(s)}, \ldots, \tilde{f}_{N-1}^{(s)})$. Исходный же ряд F раскладывается в сумму m рядов:

$$F = \sum_{n=1}^{m} \tilde{F}^{(s)}, \quad f_i = \sum_{n=1}^{m} \tilde{f}_i^{(s)},$$

$$n = 0, 1, \ldots, N-1, s = 1, 2, \ldots, m. \quad (6)$$

Таким образом, результатом работы алгоритма является разложение временного ряда на интерпретируемые аддитивные составляющие. При этом он не требует стационарности ряда, знания модели тренда, а также сведений о наличии в ряде периодических составляющих и их периодах. При таких слабых предположениях метод «Гусеница-SSA» может решать различные задачи, такие как выделение тренда, обнаружение периодик, сглаживание ряда, построение полного разложения ряда в сумму тренда, периодик и шума [2].

Разумеется, данный метод имеет и свои недостатки. Во-первых, для получения составляющих исходного ряда используется неавтоматическая группировка компонент сингулярного разложения траекторной матрицы ряда (хотя залог успешного разложения заключается как раз в правильной группировке). Во-вторых, отсутствие модели не позволяет проверять гипотезы о наличии в ряде той или иной составляющей (этот недостаток объективно присущ всем непараметрическим методам). Отметим также, что рассматриваемый нами непараметрический метод в некоторых случаях позволяет получить результаты, часто незначительно менее точные, чем многие параметрические методы при анализе ряда с известной моделью [3].

Для исследования преимуществ и недостатков алгоритма метода «Гусеница-SSA» рассмотрим его работу на трех различных примерах. В каждом из примеров дан временной ряд, который состоит из суммы сгенерированных помех R_i и заданной искомой функции x_i:

$$f_i = x_i + R_i.$$

Введем также критерий эффективности, задаваемый отношением

$$W = \frac{\sum (A_i - x_i)^2}{\sum (R_i)^2} \cdot 100\ \%, \quad (7)$$

где A_i – восстановленный (очищенный от помех) ряд, полученный с помощью алгоритма. В (7) числитель является суммой квадратов отклонений восстановленного ряда от чистого, в то время как знаменатель есть сумма квадратов помех. Таким образом, (7) показывает долю помех, не отделенную после применения алгоритма, поэтому будем называть его *гашением шума*.

Пример 1. Простой временной ряд, слабые помехи; $x_i = I + 10$, $I = 0, 1, \ldots, 49$, $N = 50$, $L = 25$; R_i – равномерно распределенная случайная величина из промежутка [–2; 2]. Матрица S имеет размеры 25 × 25 и 25 собственных чисел λ_i (табл. 1).

В качестве индексов группировки выбираются числа 24 и 25 как соответствующие наиболее значимым составляющим. С ними соотносятся элементарные матрицы V_{24} и V_{25}. Производя усреднение для результирующей матрицы $Y^0 = V_{24} + V_{25}$, получаем восстановленный ряд (рис. 1).

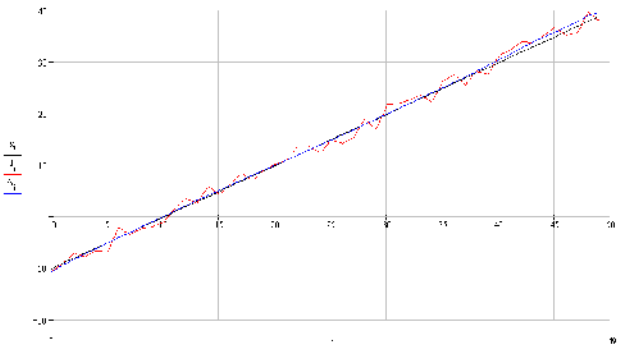


Рис. 1. Графики рядов (для примера 1): чистого, с шумом и восстановленного

Гашение шума составило $W = 11{,}4\ \%$ от исходного шума.

Пример 2. Ряд с сезонными составляющими, средние помехи; $x_i = \dfrac{i(i-60)}{100} + 5\sin(i)$, $I = 0, 1, \ldots, 59$, $N = 60$, $L = 30$; R_i – равномерно распределенная случайная величина из промежутка [–3; 3]. Матрица S имеет размеры 30 × 30 и 30 собственных чисел λ_i (табл. 2).

В качестве индексов группировки выбираются числа с 27 по 30 как соответствующие наиболее значимым составляющим (стоит отметить, что они не обязаны быть последними, хотя такое довольно часто происходит). Им соответствуют элементарные матрицы V_{27}, V_{28}, V_{29} и V_{30}. Производя усреднение для результирующей матрицы $Y^0 = V_{27} + V_{28} + V_{29} + V_{30}$, получаем восстановленный ряд (рис. 2).

Гашение шума составило $W = 25{,}6\ \%$ от исходного шума.

Пример 3. Ряд с несколькими сезонными составляющими, сильные помехи; $x_i = 0{,}03i + 1{,}6\sin(0{,}3i + 0{,}17) + 1{,}3\sin(2i + 0{,}57)$, $I = 0, 1, \ldots, 49$, $N = 50$, $L = 15$; R_i – нормально распределенная случайная величина, $\sigma = 3$. Матрица S имеет размеры 15 × 15 и 15 собственных чисел λ_i (табл. 3).

В данном случае из-за сильного шума выбор компонент для группировки довольно затруднителен и распознать тренд и периодики сложно. Анализ показал, что уве-

личение количества индексов в подобной ситуации приводит к тому, что восстанавливаются не только аддитивные компоненты, но и неотделяемый шум.

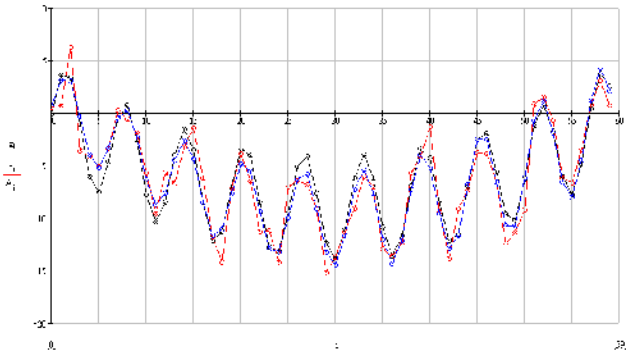


Рис. 2. Графики рядов (для примера 2): чистого, с шумом и восстановленного

Гашение шума при взятии трех наиболее значимых компонент составляет $W = 21{,}8\ \%$, для четырех – $W = 29{,}2\ \%$ и для пяти – $W = 34{,}6\ \%$.

Результаты для трех выделенных компонент приведены ниже (рис. 3).

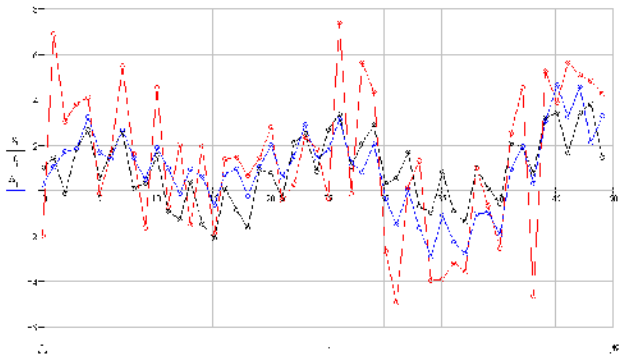


Рис. 3. Графики рядов (для примера 3): чистого, с шумом и восстановленного

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод, что базовый алгоритм метода «Гусеница-SSA» справляется с поставленной для него задачей: для временного ряда отделяет тренд и периодики от помех, снижая уровень шумов в 2–3 раза; при этом изначально неизвестно, какой тип будут иметь значимые компоненты: линейный, периодический, логарифмический или иной. Это является достоинством данного метода, что в перспективе позволит создать мощный механизм непараметрического анализа временных рядов, в том числе и в виде программ для ЭВМ.

Недостатками же базового алгоритма метода «Гусеница-SSA» являются необходимость вмешательства человека для анализа разделенных компонент и проблема выбора длины окна, от которой зависит качество разделения аддитивных составляющих. Дальнейшие исследования будут направлены на автоматизацию процесса анализа и использование других методов, улучшающих качество результатов работы алгоритма и уменьшающих вмешательство человека в этот процесс.

Библиографические ссылки

1. Голяндина Н. Э. Метод «Гусеница-SSA»: анализ временных рядов : учеб. пособие. СПб., 2004.
2. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница» / под ред. Д. Л. Данилова, А. А. Жиглявского. СПб. : Пресском, 1997.
3. Golyandina N., Nekrutkin V., Zhigljavsky A. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques. London : Chapman& Hall/CRC, 2001.

Таблица 1

Вклад собственных чисел λ_i матрицы *S*, в процентах от их суммы, для примера 1

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
λ_i, %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
i	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	–
λ_i, %	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,08	0,08	2,76	96,8	–

Таблица 2

Вклад собственных чисел λ_i матрицы *S*, в процентах от их суммы, для примера 2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
λ_i, %	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,02	0,07	0,07	0,07	0,08	0,01	0,00	0,00	0,12
i	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
λ_i, %	0,11	0,12	0,12	0,17	0,20	0,21	0,21	0,22	0,26	0,29	0,33	4,14	5,97	7,58	79,44

Таблица 3

Вклад собственных чисел λ_i матрицы *S*, в процентах от их суммы, для примера 3

i	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_i, %	2,50	2,49	2,85	2,14	1,94	3,29	4,00	4,73
i	9	10	11	12	13	14	15	–
λ_i, %	5,26	6,83	7,78	9,99	11,31	13,83	21,07	–

S. V. Vohmyanin

TESTING THE ALGORYTHM OF THE METHOD «CATERPILLAR-SSA» FOR REESTABLISHING OF TIME SERIES

The base algorithm of the «Caterpillar-SSA» method is considered and tested.

Keywords: trend allocation, finding of the periodicals, noise elimination, decomposition of time series to components.

© Вохмянин С. В., 2010

УДК 681.3

Е. А. Энгель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ*

С целью создания программной системы для адаптивного текстового реферирования разработаны и реализованы в виде отдельного модуля интеллектуальные алгоритмы автоматического определения жанра текста. Модуль позволяет нормализовать 45 статистических параметров: лексических, синтаксических, позиционных и дискурсивных; группировать гетерогенные параметры с помощью алгоритма K-средних; выполнять факторный анализ; ранжировать параметры, существенные для идентификации научного жанра, публицистики и беллетристики, посредством двух алгоритмов.

Ключевые слова: обработка текстовой информации, интеллектуальные алгоритмы, алгоритм K-средних.

В течение прошлого десятилетия автоматическое определение жанра текста стало важной проблемой, исследованной в пределах такой научной области, как обработка естественного языка. Будучи интересной с теоретической точки зрения, задача определения жанра тесно связана с развитием информационного поиска цифровых библиотек и реферирования. Автоматическую идентификацию интернет-жанров можно считать отдельной предметной областью, которая обращается к реальной проблеме информационной перегрузки и играет существенную роль в улучшении часто неадекватных результатов работы поисковых машин.

Включение модуля автоматического определения жанра текста позволяет оптимизировать и повысить эффективность системы текстового реферирования. Стимулом для создания такого модуля стали результаты оценки эффективности следующих систем автоматического реферирования: Event Tracking Summarizer, Subject Search Summarizer, Copernic Summarizer и Open Text Summarizer. Программный продукт Event Tracking Summarizer, специально разработанный для обработки беллетристики, оказался эффективнее других систем автоматического реферирования в среднем на 15 % для беллетристики и менее эффективным для других жанров. Следовательно, возникает необходимость в создании адаптивной системы текстового реферирования на основе алгоритмов, оптимизированных для конкретного текстового жанра.

У любой NLP-системы есть модуль предварительной обработки, который в зависимости от текстовых задач обработки выполняет лексическое и синтаксическое разложение, стемминг, аннотацию и синтаксический парсинг. Результатом предварительной обработки является модель объекта, которая отражает лингвистические характеристики входного текста, например слов, фраз, предложений, параграфов. Далее лингвистические характеристики ранжируются, в результате чего получается список текстовых параметров. Параметры с самыми высокими весами затем сравниваются с эталонными моделями, хранящимися в лингвистической базе данных. Входной текстовый жанр идентифицируется в зависимости от степени соответствия между распределением параметров в этом тексте и в одной из эталонных моделей. На следующей стадии система применяет алгоритмы реферирования, оптимизированные для данного жанра (рис. 1).

Предметом данной статьи является задача определения жанра текста; алгоритмы реферирования выходят за рамки данной публикации.

Параметры, идентифицирующие жанр. Идентификация жанра текста основана на анализе набора параметров, являющихся лингвистическими признаками с назначенными весами, т. е. некоторыми числовыми значениями, отражающими его важность для данного текста. Следовательно, процесс идентификации жанра включает две

* Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.», Госконтракт 02.740.11.0663.

задачи: генерацию набора лингвистических признаков и разработку алгоритмов ранжирования признаков.

В работе М. Сантини (URL: http://www.nltg.brighton.ac.uk/home/Marina.Santini/06_04_d_MSantini_JADT_2006.pdf) приводятся убедительные доказательства отсутствия характеристических или, по крайней мере, общепринятых наборов текстовых параметров для идентификации жанра, однако общая тенденция состоит в том, чтобы использовать содержательные, а не служебные термины. Это объясняется тем, что число служебных слов ограничено, они встречаются в любом тексте и различия в их распределении обеспечивают надежные данные о различиях жанра. М. Сантини использует такие параметры, как признаки части речи, 50 самых общих слов, символы пунктуации, теги HTML, длина веб-страницы, которые определяют аспекты жанра (URL: http://www.itri.brighton.ac.uk/~Marina.Santini/MSantini_PhD_Thesis.zip). Эти параметры лежат в основе различных методов ранжирования и обеспечивают достаточно эффективную идентификацию интернет-жанров.

Предлагаемый в данной статье модуль отличается от существующих систем распознания интернет-жанров в следующих аспектах: входной файл для автоматического реферирования имеет формат (.txt) и особенности расположения документа (например, теги HTML) незначительны; главная идея состоит в том, чтобы разработать адаптивные алгоритмы реферирования, основанные на параметрах, существенных для данного жанра, именно поэтому параметры содержания также должны быть учтены; служебные слова считают словами остановки и игнорируются во время текстового реферирования.

Несмотря на то что в лингвистике существуют различные интерпретации классификации жанра, большинство ученых соглашается с наличием ряда основных различий между беллетристикой и научной литературой (URL: http://www.evartist.narod.ru/text14/17.htm). Базируясь на этих различиях, нами были составлены 45 параметров, разбитых на четыре группы (табл. 1).

Лексические параметры включают средние частоты имен собственных и различные типы местоимений в тексте (A/T) и предложениях (A/S). Гипотеза нашего исследования заключалась в том, что средние частоты имен собственных в беллетристике намного выше, чем в научной литературе, потому что беллетристика сосредоточена на названиях персонажей, мест и событий, которые составляют главные элементы мира воображения. Это же относится и к местоимениям, потому что они служат заменами для имен собственных и существительных и для фраз, составленных из имен собственных, например таких, как Джон Смит. Неопределенные местоимения более типичны для научной литературы, так как они являются проявлениями безличного повествования. Нами также полагалось, что соединительные слова, которые выражают причинно-следственные отношения, т. е. при-

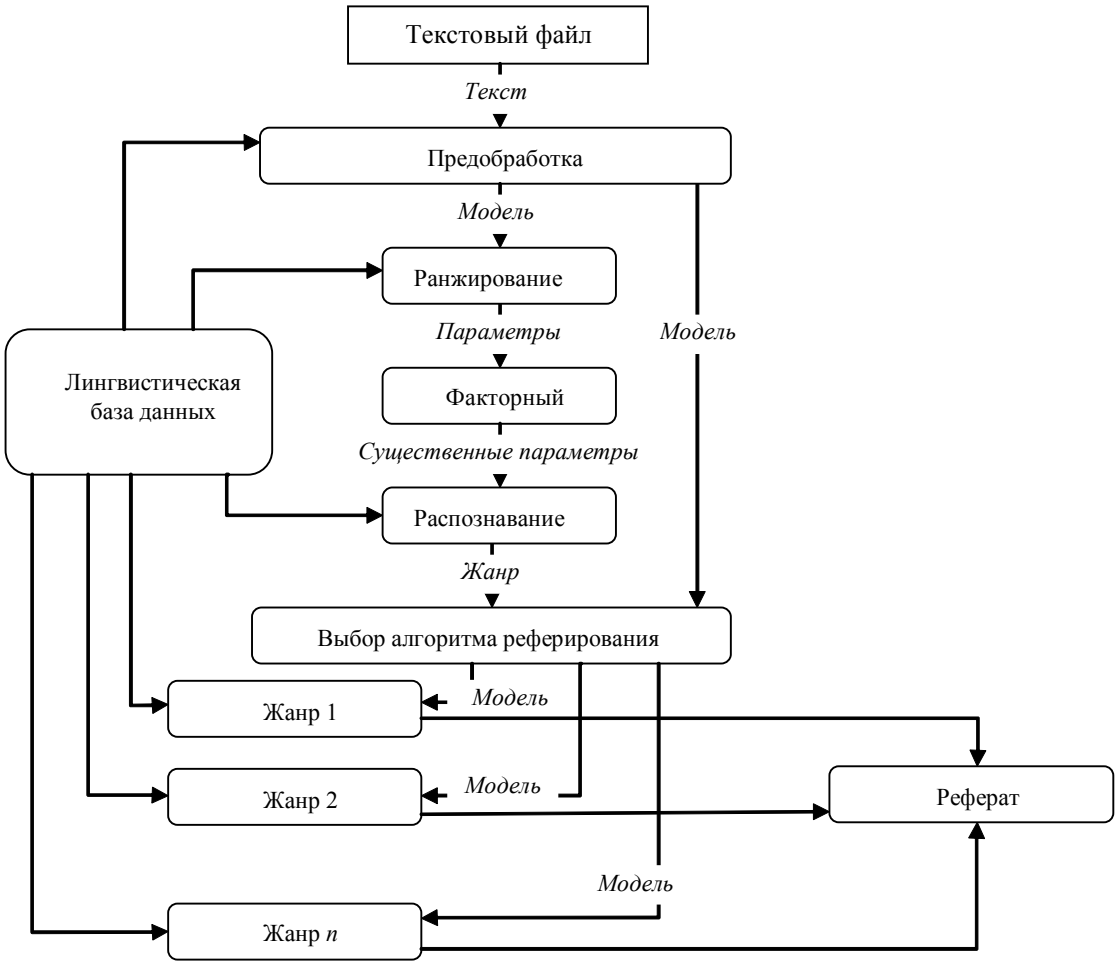


Рис. 1. Обобщенная схема адаптивной текстовой системы реферировании

чину, сроки и условия (например, *потому что*, *с тех пор*, *если* и т. д.), более характерны для научной литературы, так как они выражают ее логическую природу, в то время как соединительные слова, которые выражают контраст, время и дополнение, используются чаще в беллетристике, чтобы изобразить временную последовательность событий или обеспечить сравнительные описания. Средняя длина прямой речи в словах (AL/W) также предполагалась значительно более высокой в беллетристике.

Позиционные параметры для указанных лексических единиц были сформулированы согласно среднему значению и принципам различия, применяемым в информационной поисковой теории (URL: http://www.criticalreading.com/fiction.htm#linkf). Эти принципы гласят, что термины, которые встречаются в первой части текста, важнее найденных только во второй или третьей части, и термины, используемые в начале параграфа, более существенны, чем остальные. Поскольку местоимения выступают в качестве замены имен собственных и существительных, их частота должна быть выше во второй части текста, а не в начале. A/S_1P, A/T_1/3, A/T_2/3 обозначают среднюю частоту имен собственных и существительных в первом предложении параграфа, 1/3 и 2/3 частях текста соответственно.

Также очевидны важные различия между следующими статистическими параметрами беллетристики и научной литературы: средней длиной предложения в словах (ASL/W), дисперсией длины предложения в словах (DSL/W), средней длиной параграфа в словах (APL/W), средней длиной параграфа в предложениях (APL/S), дисперсией длины параграфа в словах (DPL/W) и дисперсией длины параграфа в предложениях (DPL/S). Дисперсия здесь рассматривается как среднее абсолютное отклонение, представленное формулой

$$D = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|x_i - M\right|,$$

где M – среднее значение выборки размера N.

Представленные в табл. 1 параметры позволяют обнаруживать содержательные термины во время последующего текстового реферирования. В теории информационного поиска и реферирования самые важные содержательные термины – существительные. Личные, взаимные, рефлексивные, вопросительные местоимения заменяют существительные, которые могут быть обнаружены с помощью решения анафоры; демонстративные и притяжательные местоимения предварительно изменяют существительные, служа, таким образом, их индикаторами.

Экспериментальные результаты. Чтобы проверить адекватность параметров, нами было проведено три ряда экспериментов, основанных на соответствии тестового лингвистического корпуса справочному корпусу. В качестве справочного лингвистического корпуса использовались 130 работ беллетристики, загруженных с сайта Gutenberg (URL: http://www.gutenberg.org/wiki/Main_Page?Sess=25607a1aa5). Для первого ряда экспериментов тестовый корпус состоял из работ одного автора. На основе представленных выше параметров справочный корпус был разделен на две, три, четыре и пять групп, чтобы узнать, находились ли работы, написанные одним и тем же автором, в пределах одной группы. Гипотеза была следующей: если параметры были выбраны адекватно, то такие работы должны принадлежать одной и той же группе, если же эти работы находятся в пределах различных групп, то это свидетельствует о несоответствии параметров. Во втором ряду экспериментов тестовый корпус был представлен статьями одного научного журнала. Статьи добавлялись к справочному корпусу, который был разделен на то же самое число групп. Для третьего ряда экспериментов тестовый корпус составляли статьи, взятые с одного новостного сайта.

Эксперименты показали, что когда число групп в справочном корпусе было от одной до четырех, тексты тестового корпуса находились в пределах той же самой группы. Когда число групп равнялось пяти, тестовый корпус

Таблица 1

Параметры для распознания жанра текста

№	Тип параметра	Лингвистические единицы	Числовое значение
1–8	Лексический	Имена собственные, личные, демонстративные, взаимные, притяжательные, рефлексивные, неопределенные местоимения	A/T
9–16		Имена собственные, личные, демонстративные, взаимные, притяжательные, рефлексивные, неопределенные местоимения	A/S
17		Прямая речь	AL/W
18	Синтаксический	Фразы, составленные из имен собственных	A/T
19–26	Позиционный	Имена собственные, личные, демонстративные, взаимные, притяжательные, рефлексивные, неопределенные местоимения	A/S_1P
27		Имена собственные	A/T_1/3
28–34		Личные, указательные, взаимные, притяжательные, рефлексивные, неопределенные местоимения	A/T_2/3
35–39	Дискурсивный	Соединительные слова, которые выражают причинно-следственные и последовательно-временные отношения	A/T
40–45	Статистический	Предложение	ASL/W
		Предложение	DSL/W
		Параграф	APL/W
		Параграф	DPL/W
		Параграф	APL/S
		Параграф	DPL/S

классифицировался неправильно. Табл. 2, 3, 4 предоставляют информацию о текстах, которые классифицировались неправильно, и о параметрах, которые способствовали неправильной классификации тестового корпуса.

Необходимо отметить, что при числе групп, равно пяти, только один текст тестового корпуса классифицировался неправильно. Дальнейшее увеличение числа групп ухудшает классификацию.

Чтобы провести эксперименты, были составлены списки местоимений и дискурсивных терминов, создано оригинальное программное обеспечение и разработаны следующие алгоритмы:

– алгоритм распознания имен собственных;

– алгоритм распознания фраз с именами собственными;

– алгоритм распознания первых предложений в параграфах;

Таблица 4.

Экспериментальные результаты, полученные по тестовому корпусу из 10 статей каждого новостного сайта (число групп – 5, размер справочного корпуса – 140)

Неправильно классифицированный текст (заголовок)	Автор	Параметры, способствующие неправильной классификации	Число текстов автора
The Forsyte Saga, Volume II. Indian Summer of a Forsyte and In Chancery	John Galsworthy	Средняя длина прямой речи (больше справочной для данного жанра)	4
Sister Carrie	Theodore Dreiser	Средняя длина параграфа в словах (меньше справочной для данного жанра)	4
Ersatz Eternal	A. E. Van Vogt	Средняя длина параграфа и дисперсия предложений (меньше справочной для данного жанра)	3
Liza of Lambeth	W. Somerset Maugham	Средняя длина параграфа в словах (меньше справочной для данного жанра). Дисперсия длины параграфа в предложениях и словах (меньше справочной для данного жанра)	3
The Happy Prince	Oscar Wilde	Средняя длина параграфа в предложениях (меньше справочной для данного жанра). Дисперсия длины параграфа в предложениях и словах (меньше справочной для данного жанра)	3
The Prince and The Pauper, Complete	Mark Twain (Samuel Clemens)	Среднее число личных местоимений в тесте (меньше справочного для данного жанра)	4
The Pickwick Papers	Charles Dickens	Среднее число личных местоимений в предложениях (меньше справочного для данного жанра)	11
The Jungle Tales of Tarzan	Edgar Rice Burroughs	Среднее число личных и указательных местоимений в тесте (меньше справочного для данного жанра). Средняя длина прямой речи (меньше справочной для данного жанра). Средняя длина параграфа в предложениях (больше справочной для данного жанра)	8

Таблица 2

Экспериментальные результаты, полученные по тестовому корпусу, составленному из работ одного и того же автора (число групп – 5, размер справочного корпуса – 130)

Текст	Автор	Параметры, способствующие неправильной классификации
Language Learning & Technology. 2003. Vol. 7, № 1. P. 46–70 (URL: http://llt.msu.edu/vol7num1/greenfield/default.html) Collaborative E-mail Exchange for Teaching Secondary Esl: a case Sudy in Hong Kong	Roseanne Greenfield	Среднее число имен собственных в предложениях и в первых предложениях параграфов (больше справочного для данного жанра)

Таблица 3

Экспериментальные результаты, полученные по тестовому корпусу, включающему по 6 статей каждого научного журнала (число групп – 5, размер справочного корпуса – 136)

Analysis: Taliban talks strategy attracts backers (URL: http://edition.cnn.com/2008/WORLD/asiapcf/10/28/analysis.taliban/index.html)	CNN	Среднее число указательных местоимений в предложениях и в первых предложениях параграфов (больше справочного для данного жанра)

– алгоритм распознания прямой речи;

– алгоритм разбиения текста на части в следующих отношениях: 1/3, 2/3.

Для текстового разложения использовались программное обеспечение tokenizer и splitter (URL: http://www.criticalreading.com/fiction.htm#linkf).

Распознание имен собственных выполнялось согласно следующему алгоритму:

1) выбираются все символы с начальной заглавной буквой. Если символ не находится в начальной позиции в предложении, то он маркируется как имя собственное и попадает в список имен собственных;

2) проверяются все символы, которые открывают предложения. Если символ находится в списке имен собственных, то его маркируют как имя собственное.

Для ранжирования параметров и кластеризации корпуса необходимы более сложные алгоритмы. Главной проблемой является гетерогенный характер параметров: у некоторых из них были вероятностные оценки, в то время как другие представляли средние значения. Чтобы разрешить эту проблему, равно как и проблему кластеризации корпуса, использовался метод *K*-средних, группирующий *N* объектов признакового пространства в постоянное число *k* кластеров, $k < N$ (URL: http://www.cs.duke.edu/courses/spring 07/cps296.2/papers/kMeans-socg.pdf).

Предположим, что корпус включает *N* текстов и для каждого из них вычисляются *M* средних значений параметров текста. Для их нормализации используется линейная нормализация относительно минимального и максимального значения, которая может быть представлена формулой

$$X_{\text{norm}} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}),$$

где *X* – исходное среднее значение параметра; $X_{\max}$ и $X_{\min}$ – максимальное и минимальное значение параметра соответственно.

После нормализации тексты характеризуются набором параметров, представляющих точки в многомерном единичном кубе. Далее осуществляется кластеризация полученного множества точек с помощью авторской программы, реализующей метод *K*-средних.

Также был разработан метод выделения существенных параметров, идентифицирующих конкретный жанр. Метод состоит из трех этапов.

Первый этап – составление обучающего и тестового лингвистических корпусов текстов, пропорционально представляющих каждый жанр. Тексты были отобраны из американского (ANC) и британского лингвистических корпусов (BNC) (табл. 5).

Второй этап – осуществление факторного анализа параметров за два шага.

Первый шаг формирует вес w_{1i}. Для распознания жанра текста используются две нейросети бинарной классификации: выходной сигнал первой сети равен 1, если жанр текста беллетристика; в противном случае классификацию продолжает вторая нейросеть, выходной сигнал которой равен 1, если жанр текста научный, и 0, если жанр текста публицистика. Далее осуществляется анализ значимости нейросетевых входов, которые представляют собой числа в диапазоне от 0 до 1. Затем параметры ранжируются следующим образом: каждому параметру *i* присваивается вес w_{1i}, соответствующий значимости его как нейросетевого входа.

Второй шаг формирует вес w_{2i}. Для этого вычисляются средние значения параметров для каждого жанра. Далее определяется вес *i*-го параметра w_{2i}:

$$|X(G1) - X(G2)| / \max(X(G1), X(G2)), \qquad (1)$$

где $X(G1), X(G2)$ – среднее значение параметра *i* для первого и второго жанра соответственно. Полученный список параметров w_{2i} нормализуется.

Третий этап – отбор из каждого жанра текста *n* наиболее значимых параметров для идентификации жанра текста, осуществляемый по формуле

$$\frac{\sum_{i=1}^{M} w_{ji}}{M} = K, \quad w_{ji} \in S, \text{ если } w_{ji} \geq K, \qquad (2)$$

где w_{ji} – вес *i*-го параметра, полученного на шаге; *S* – множество существенных параметров; *M* – общее число параметров текста; *K* – порог, т. е. параметры, веса которых превышают или равны *K*, являются наиболее значимыми при идентификации жанра текста. Наборы параметров, наиболее значимых для идентификации жанров текста (беллетристики, публицистики и научного жанра), представлены в табл. 6.

Анализ представленных выше данных подтверждает следующие гипотезы:

– соединительные слова, которые выражают временные отношения, важны для беллетристики;

– соединительные слова, которые выражают условия, важны для научных текстов;

– неопределенные местоимения важны для научной литературы.

Гипотеза о важности имен собственных для беллетристики была частично подтверждена. Оказалось, что распределение имен собственных еще более важно для газетных текстов.

Гипотеза о важности причинно-следственных связей для научных текстов не подтвердилась.

Экспериментальные результаты показали, что программная система распознала правильно 100 % научных текстов, 96 % газетных текстов (4 % из них были идентифицированы как научные), и 86,5 % текстов беллетристики (3,5 % были распознаны как научные). Средняя ошибка классификации составила 94,75 %. Система распознавания была оценена на текстах соответствующих жанров, взятых из BNC и ANC (табл. 7 и 8).

Таблица 5

Структура обучающего и тестового лингвистических корпусов текстов

Корпус	Беллетристика		Научный жанр		Публицистика	
	Кол-во текстов	Кол-во слов	Кол-во текстов	Кол-во слов	Кол-во текстов	Кол-во слов
BNC	100	3 187 732	50	1 573 825	50	1 428 367
ANC	70	2 865 623	50	1 205 912	50	1 346 843

В отличие от существующих исследований, нацеленных на адаптивные алгоритмы распознания интернет-жанров, эта работа была вдохновлена идеей адаптивного текстового реферирования. Одна из лучших систем такого типа – IntellexerSummarizer (URL: http://summarizer.intellexer.com/order_summarizer_standard.php) – осуществляет автоматическое распознание таких жанров, как общее, доступное, научное, экономика и политика. Система представляет коммерческий продукт и не дает информации о причинах такого выбора жанров и алгоритмах для их распознавания.

Данное исследование было проведено на заранее определенных жанрах, т. е. в нем проанализированы параметры текстов, жанр которых уже определен в BNC и ANC.

Таблица 6

Параметры, наиболее значимые для идентификации жанров текста

Параметры	Формула	Вес
Параметры, наиболее значимые для идентификации беллетристики		
Наиболее значимые параметры (нейросетевой факторный анализ):		
притяжательные местоимения	A/T	0,832 398
соединительные слова, которые выражают временные отношения	A/T	0,385 037
имена собственные	A/T_1/3	0,356 929 3
рефлексивные местоимения	A/T	0,378 697
неопределенные местоимения	A/T	0,350 852
взаимные местоимения	A/T_2/3	0,349 781
Наиболее значимые параметры (метод средних):		
взаимные местоимения	A/S	0,525 304
Параметры, наиболее значимые для идентификации научных текстов		
Наиболее значимые параметры (нейросетевой факторный анализ):		
притяжательные местоимения	A/S_1P	0,811 473
длина предложений	ASL/W	0,584 083
соединительные слова, выражающие условия	A/T	0,421 059
Наиболее значимые параметры (метод средних):		
притяжательные местоимения	A/T_2/3	0,498 94
неопределенные местоимения	A/S_1P	0,657 554
имена собственные	A/S	0,719 157
относительные местоимения	A/S	0,432 064
Параметры, наиболее значимые для идентификации публицистики		
Наиболее значимые параметры (нейросетевой факторный анализ):		
взаимные местоимения	A/S	0,643 268
притяжательные местоимения	A/S	0,585 424
имена собственные	A/S_1P	0,582 093
фразы с именами собственными	A/T	0,543 224
указательные местоимения	A/S	0,398 675
Наиболее значимые параметры (метод средних):		
имена собственные	A/S_1P	0,422 16
имена собственные	A/S	0,345 877

Таблица 7

Качество распознания первой нейросети

Показатель	Беллетристика	Nonfiction
Количество текстов	170	100
Количество текстов, распознанных правильно	147	100
Количество текстов, распознанных неправильно	23	0
Процент распознавания	86,5	100

Средняя ошибка классификации – 91,5 %.

Таблица 8

Качество распознания второй нейросети

Показатель	Научный жанр	Публицистика
Количество текстов	100	100
Количество текстов, распознанных правильно	100	96
Количество текстов, распознанных неправильно	0	4
Процент распознавания	100	96

Средняя ошибка классификации – 98 %.

Как было отмечено выше, предложенная программная система делает ошибки в определении жанра и такие случаи особенно интересны. Например, если система признает текст как научный, хотя в BNC или ANC он определен как газетный, то было бы полезно проанализировать параметры, из-за которых система распознала текстовый жанр неправильно. Эти параметры могут отличать некоторые поджанры в пределах данного жанра – так называемые d-жанры, что может наложиться на поджанры, которые различают в литературе, такие как научная фантастика, исторический роман, документ для обсуждения и т. д. Алгоритмы реферирования, оптимизированные для каждого из d-жанров, обеспечат необходимую гибкость – одно из важных современных требований для систем рассматриваемого типа.

E. A. Engel

USING INTELLIGENT ALGORITHMS FOR THE TEXT INFORMATION PROCESSING

For the purpose of adaptive text summarization the software for automatic genre recognition has been developed base on intelligent algorithms. The software allows creation of normalizing 45 statistic, lexical, syntactic, positional, and discursive parameters and clustering of heterogeneous parameters with the help of k-means algorithm, verification of the parameters, selection of the parameters highly salient for academic, newspaper, and fiction texts by means of two factor analysis algorithms.

Keywords: text information processing, intelligent algorithms, of k-means algorithm.

© Энгель Е. А., 2010

УДК 621.771: 621.777

Н. Н. Загиров, А. А. Ковалева, Е. В. Иванов

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ С ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ИЗ СТРУЖКИ СПЛАВА СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ–МАГНИЙ–КРЕМНИЙ

Предложена технологическая схема переработки отходов в виде сыпучей стружки сплава системы алюминий–магний–кремний в прутки и проволоку, основу которой составляют приемы порошковой металлургии. Выявлены характерные структурные особенности и дана оценка уровня механических свойств полученной проволоки.

Ключевые слова: сыпучая стружка, брикетирование, совмещенные прокатка-прессование, волочение, волокнистый материал, структура, механические свойства.

В большинстве случаев, когда речь идет об использовании в различных отраслях промышленности проволоки, изготовленной из некомпактных металлических материалов, в качестве ее подразумевают сложный композиционный материал, состоящий из металлической оболочки – твердопластичного тела и порошкового сердечника – сыпучего не связного материала, представляющего смесь разнородных по составу и крупности отдельных частиц [1]. При обработке давлением металлическая оболочка находится в сложном взаимодействии с порошковым сердечником, вызывая некоторую совокупность сложного перемещения частиц порошка и их упруго-пластического взаимодействия друг с другом в массе порошковой шихты под действием внешней нагрузки.

По предлагаемой в работе технологии изготовления проволоки из сыпучей мелкой стружки (опилок) алюминиевого сплава АД31 помещение ее в металлическую оболочку не предусматривается, а сам процесс получения конечной продукции условно может быть разбит на две составляющие:

1) технологическую цепочку получения промежуточной заготовки для волочения, которая включает стадии подготовки стружки к компактированию, брикетирования ее, нагрева полученных брикетов под экструзию и горячей экструзии на пруток заданного диаметра;

2) технологический процесс изготовления проволоки, состоящий из многократно повторяющихся операций протягивания заготовки через волоки (фильеры), а также ряда сопутствующих и вспомогательных операций.

Такой подход к переработке стружки, общая доля которой во всем вторичном сырье составляет достаточно внушительную цифру, обеспечивает, по сравнению с плавильным переделом, более высокий выход годного металла стружки. И кроме того, снижаются энергозатраты и вредные воздействия на окружающую среду, что является актуальной задачей для любого производства, независимо от его масштабов.

Известно, что пригодность металлической стружки как материала для изготовления пресс-изделий и проволоки определяется в значительной мере ее прессуемостью при брикетировании. При получении брикетов удлиненной формы в виде прямоугольного параллелепипеда с соотношениями высоты к ширине порядка 1, длины к ширине порядка 10 (такие соотношения размеров брикетов обусловлены спецификой конструкции и работы установки совмещенной прокатки-прессования), использование традиционной схемы одностороннего прессования в жесткой пресс-форме не совсем эффективно. Из-за сравнительно низкой относительной плотности брикетов и малой связности отдельных фрагментов стружки велика вероятность разрушения (переламывания) полученных штабиков при выпрессовке.

В работе брикетирование стружки *2* производили в пресс-форме (рис. 1), которая состоит из верхнего *1* и нижнего *4* пуансонов, разъемной матрицы *3* и обоймы *5* с наклонными контактирующими поверхностями. В ходе экспериментов было установлено, что для обеспечения относительной интегральной плотности брикетов в 70...80 % давление брикетирования должно быть не ниже 80...100 МПа.

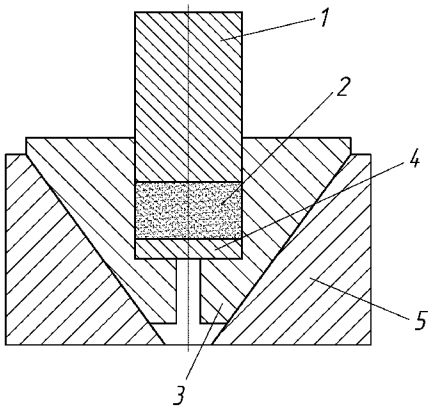


Рис. 1. Схема пресс-формы для получения брикетов под последующую совмещенную прокатку-прессование

Для получения пресс-изделий использовали установку совмещенной прокатки-прессования (СПП) (рис. 2). Рабочая клеть представляет собой две стальные станины *1* закрытого типа, скрепленные между собой стяжными болтами *2* и смонтированные на общем основании с двигателем, коробкой передач, редуктором и шестеренной клетью (на рисунке не показаны). В подушках на бронзовых подшипниках скольжения *3* установлены оси *4*, на которых закреплены валки *5*, образующие закрытый калибр. Установка зазора между валками осуществляется с помощью специального механизма, позволяющего производить совместное и раздельное вращение нажимных винтов *6*.

Перед задачей брикетов в валки их нагревали до температуры 500 ± 20 °С в отдельно стоящей печи, расположенной вблизи установки СПП. Параллельно проводили подогрев валков до температуры 80...100 °С. Подачу брикетов в закрытый калибр (рис. 3), образованный валками, осуществляли последовательно один за одним, стремясь к сокращению до минимума пауз между их поступлением в очаг деформации.

Зазор между валками, составляющий в нашем случае 7...8 мм, обеспечивает уплотнение стружки на стадии прокатки до относительной плотности 85...90 %. Следовательно, в зону распрессовки поступает уже уплотненный материал, что облегчает деформацию осадки металла стружки в поперечном направлении калибра в очаге распрессовки.

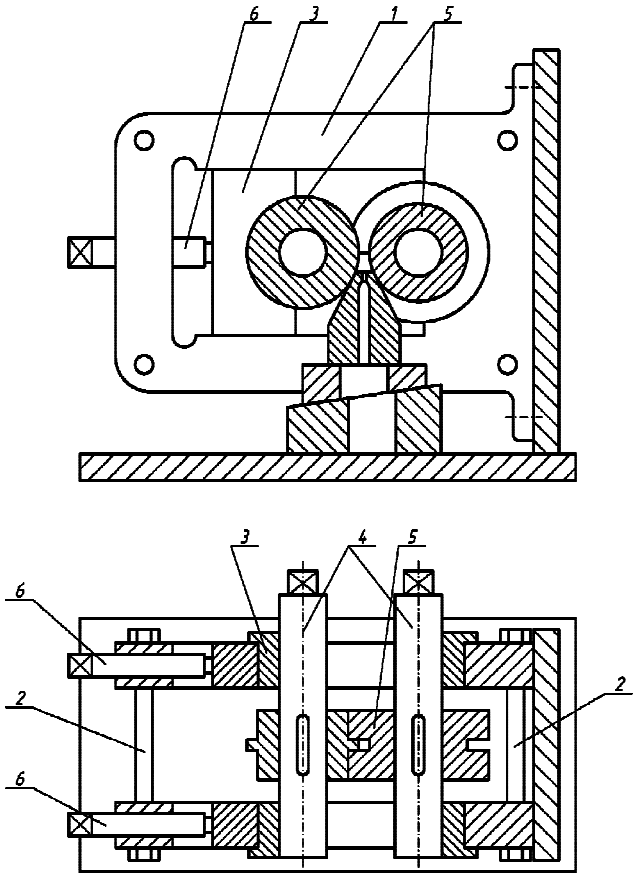


Рис. 2. Лабораторная установка для совмещенной прокатки-прессования алюминиевых сплавов на базе прокатного стана ДУО200

Рис. 3. Момент задачи заготовки в валки

Диаметры рабочих отверстий используемых для получения пресс-изделий матриц, были выбраны 7 и 9 мм, что соответствовало значениям коэффициентов вытяжки при прессовании 8 и 5.

Для установления характерной структуры и оценки уровня механических свойств полученных прутков из серединной части каждого из них отбирались образцы, которые в дальнейшем подвергались исследованиям и испытаниям в соответствии с существующими стандартными методиками.

Анализ результатов металлографических исследований (рис. 4) показал, что принятая в ходе реализации в лабораторных условиях процесса СПП степень деформации при прессовании недостаточна для обеспечения качественного схватывания частиц стружки в процессе их совместной деформации. На микроструктурах видны четко выраженные границы раздела между отдельными стружками, представляющие собой поверхностные окисные пленки, и достаточно редко встречающиеся несплошности. Принципиальной разницы между структурами образцов, вырезанных из отпрессованных прутков диаметрами 7 и 9 мм, нет. Таким образом, можно говорить о характерной стабильной структуре, представляющей собой вытянутые в направлении прессования частицы стружки разной толщины, разделенные между собой устойчивыми к деформированию окисными пленками. Мостиков схватывания между стружками практически нет, т. е. формирование физического контакта протекает в основном на микронеровностях стружки с частичным растеканием (но не разрушением) окисной пленки по всей контактной поверхности.

Следующим технологическим переделом являлось холодное волочение отпрессованных прутков до получения проволоки конечным диаметром 1 мм, которое осуществлялось на цепном волочильном стане усилием 50 КН без проведения промежуточных отжигов со средним обжатием $\varepsilon_{ср} = 15...20$ %.

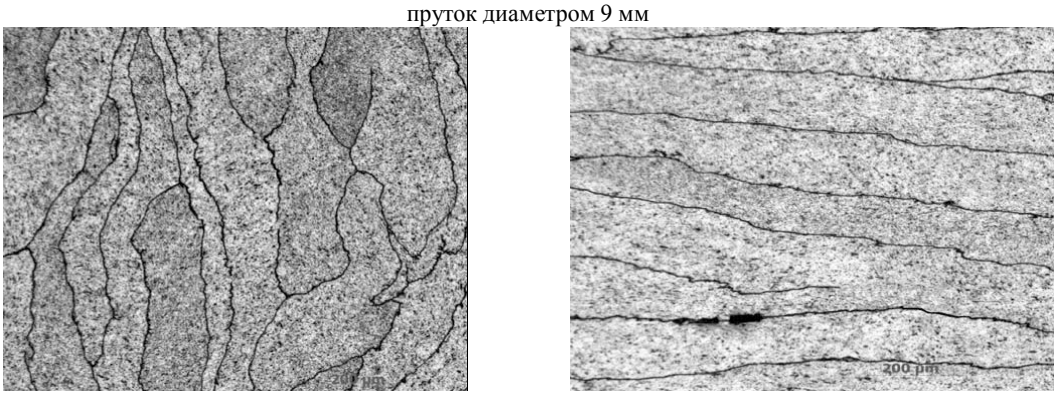
Задача оптимизации режима обжатий в работе не ставилась.

Отбор образцов для металлографических исследований и оценки механических характеристик производился на некоторых промежуточных диаметрах. Сообщаемая проволоке к этому моменту величина деформации оценивалась показателем

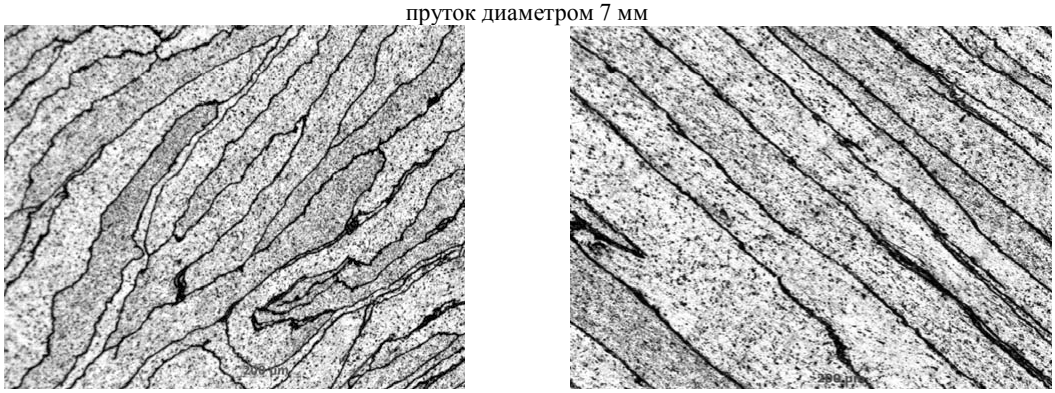
$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{d_0^2 - d^2}{d_0^2} 100\ \%.$$

Рассмотрим микроструктуры поперечного сечения проволок, полученных с разной величиной обжатия из прутков диаметрами 7 и 9 мм (рис. 5). Тенденция изменения структуры с увеличением относительного обжатия для обоих случаев в общем-то идентичная, т. е. по мере уменьшения диаметра протянутой проволоки происходит измельчение структуры с постепенно усиливающейся раздробленностью в приповерхностных слоях проволоки. Это связано с неравномерностью распределения деформации по сечению проволоки при волочении, когда деформированию в большей степени подвергаются слои, контактирующие с волокой. При этом в приповерхностных слоях проволоки происходит диспергирование окисной пленки, которое наряду с утонением структуры должно положительно сказываться на формировании свойств полученной продукции. Существенное влияние на это не должны оказывать и прослеживаемые на некоторых представленных структурах отдельные дефекты в виде нарушения сплошности. Они носят случайный ха-

пруток диаметром 9 мм



пруток диаметром 7 мм



а *б*

Рис. 4. Характерная микроструктура (×160) прутков в поперечном (*а*) и продольном (*б*) направлениях

рактер, не связанный с реализацией предложенной технологической схемы.

Оценка механических характеристик полученной проволоки производилась путем испытания ее на растяжение с определением временного сопротивления разрыву σ_B, относительного удлинения δ и относительного сужения ψ. Результаты испытаний приведены на рис. 6, причем точками отмечены средние для пяти испытанных образцов значения указанных характеристик.

Таким образом, на наш взгляд, по результатам проведенных исследований можно говорить о технологии получения алюминиевой проволоки из анизотропного композиционного материала, свойства которого обусловлены ориентированием волокон в одном направлении. При

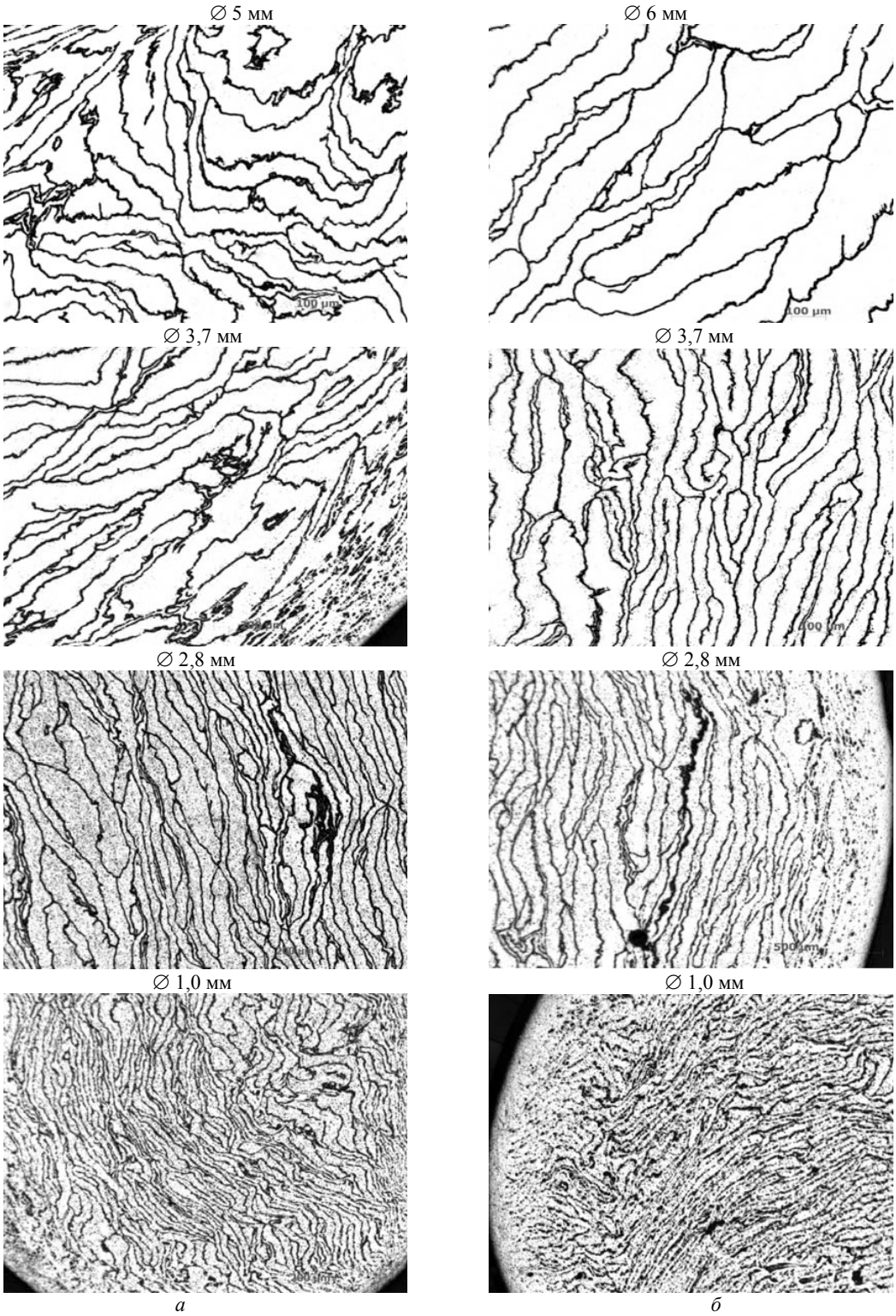


Рис. 5. Микроструктура (×160) поперечного сечения проволоки разного диаметра, полученной из прутков диаметрами 7 мм (*а*) и 9 мм (*б*)

этом в данном случае речь идет о технической анизотропии, «проектируемой» заранее и возникающей при пластической деформации с определенной схемой деформации. Отрезки волокон (вытянутых стружек) имеют, в зависимости от величины утонения, разную длину. Поэтому на единицу площади поперечного сечения вырезанных из прутков образцов, как в продольном, так и поперечном направлении, приходится разное число волокон. Причем чем больше степень деформации при волочении (меньше диаметр проволоки), тем больше будет протяженность границ между стружками в поперечном сечении.

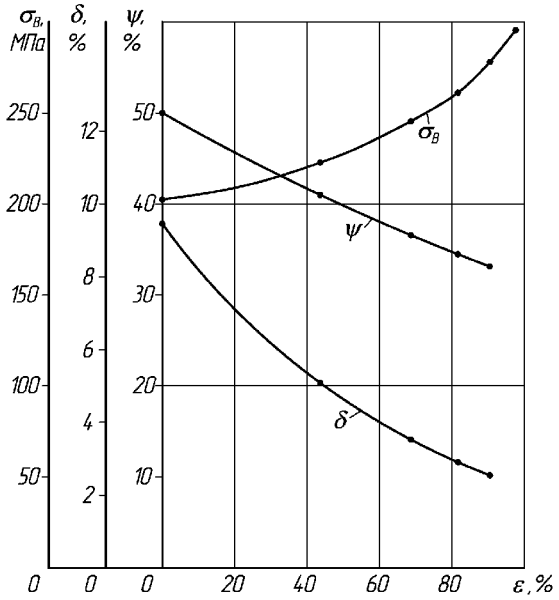


Рис. 6. Изменение механических характеристик полуфабрикатов из стружки сплава АД31 после горячего прессования (ε = 0 %) и холодного волочения

Указать конкретную область применения проволоки из стружки сплава АД31 достаточно сложно, однако можно предположить, что из-за сравнительно невысокой себестоимости изготовления проволоки и с учетом достигнутых механических характеристик она может применяться, например, для сварки изделий и конструкций плавлением. Согласно ГОСТ 7871 временное сопротивление разрыву такого рода проволоки из алюминия и алюминиевых сплавов должно быть не менее 100 МПа. Кроме того, она может использоваться для изделий ширпотреба, в частности, обвязочной проволоки неответственного назначения. Для такой продукции механические характеристики строго не регламентированы, однако считается, что в твердом (неотожженном) состоянии временное сопротивление разрыву проволоки должно быть не ниже 140...160 МПа, а относительное удлинение – не ниже 2...3 %.

Библиографическая ссылка

1. Пацекин В. П., Рахимов К. Э. Производство порошковой проволоки. М. : Металлургия, 1979.

N. N. Zagirov, A. A. Kovalyova, E. V. Ivanov

MANUFACTURING TECHNIQUE OF FIBROUS STRUCTURE WIRE FROM THE FACING OF ALUMINIUM–MAGNESIUM–SILICON ALLOY

There is suggested a technological scheme for processing waste of aluminum–magnesium–silicon alloy in the form of shoveling turnings into bars and wire. This scheme is based on the methods of powder metallurgy. The characteristic structural features are shown and the level of mechanical properties of the produced wire is estimated.

Keywords: shoveling turnings, briquetting, combination of rolling and pressing, drawing, fibrous material, structure, mechanical properties.

© Загиров Н. Н., Ковалева А. А., Иванов Е. В., 2010

УДК 681.7.069.2

С. А. Крат, А. А. Филатов, В. В. Христич

ТЕПЛОВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА: ОПЫТ СОЗДАНИЯ ИМИТАТОРА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Рассмотрен вопрос о возможности применения серийно выпускаемых ксеноновых ламп семейства ХВО для создания излучательной системы в имитаторах Солнца.

Проведены экспериментальные исследования светооптических характеристик лампы.

Ключевые слова: тепловакуумные испытания, имитатор солнечного излучения, источник излучения, световой поток, ХВО-лампы.

Одним из основных этапов наземной экспериментальной отработки КА считаются тепловакуумные испытания.

Объектом испытаний является теплофизическая модель КА или его составных частей.

На теплофизической модели платформы вместо штатных приборов и блоков установлены их тепловые имитаторы – секции электрообогрева, имитирующие тепловыделение оборудования при штатной эксплуатации. Для снятия температурной информации в процессе проведения тепловакуумных испытаний на элементах модели установлены термометры сопротивления.

Целью ТВИ является экспериментальная отработка теплового режима и тепловых схем вновь разрабатываемых внешних элементов изделия, приборов и оборудования при имитации условий выведения и орбитального функционирования (штатной эксплуатации).

К задачам, решаемым в ходе испытаний относятся: верификация математической модели кондуктивного теплообмена между элементами конструкции платформы; проверка соответствия температур элементов конструкции изделия и приборов заданным требованиям к системе терморегулирования, а также требованиям к внешним элементам при имитации предельных значений внешних и внутренних тепловых нагрузок; определение температурных полей по внешним элементам конструкции фрагментов изделия; проверка достаточности мощности электрообогревателей внешних приборов и оборудования фрагментов изделия; определение необходимости и разработка рекомендаций по корректировке технической документации на тепловые схемы внешних элементов изделия.

При анализе результатов испытаний регистрируемые и контролируемые в ходе испытаний отрабатываемые температурные параметры оцениваются на соответствие допустимым значениям. При необходимости в отчёте даются рекомендации по доработке или изменению тепловых схем.

Тепловакуумные испытания проводятся на специально оборудованных стендах – вакуумных установках, оснащенных криогенными экранами и имитаторами внешних тепловых и световых потоков. Условия испытаний максимально приближены к условиям штатного функционирования КА. В состав стендов для тепловакуумных испытаний входят: термобарокамера; система вакуумной откачки; криогенная система; панели имитатора тепловых потоков; имитатор солнечного излучения.

Система вакуумной откачки обеспечивает давление в камере не выше $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.

Охлаждаемые криогенные экраны создают имитацию черного космического пространства с температурой не выше –180 °С.

Ключевым и наиболее сложным элементом стенда для тепловакуумных испытаний является имитатор солнечного излучения.

Требования, предъявляемые к имитатору Солнца: спектральное распределение энергии излучения в диапазоне длин волн (0,2...2,5) мкм, близкое к распределению солнечного излучения; плотность потока излучения на уровне 1 340…1 440 Вт/м^2 с погрешностью имитации не более 10 % от номинальных значений; размеры светового пятна, соответствующие размерам рабочего поля; неравномерность светового потока не более 10 %.

Имитатор Солнца представляет собой источник излучения и оптическую формирующую систему, направляющую поток в рабочую зону.

В данной публикации рассмотрена возможность применения газоразрядных ламп высокого давления ХВО в качестве источника излучения для имитатора Солнца на базе термобарокамеры ТБК-120 (уникальный стенд для наземной экспериментальной отработки КА).

До недавнего момента (2005 г.) при проведении тепловакуумных испытаний схема имитатора солнечного излучения ТБК-120 была построена на базе ламп ДКсРМ-55000 российского производства. Лампа типа ДКсРМ-55000-УХЛ-4-дуговая, ксеноновая сверхвысокого давления разборная мощностью 55 000 Вт. Лампа имеет металлический водоохлаждаемый корпус с внутренней зеркальной оптикой и купольным выходным кварцевым окном, охлаждаемым дистиллированной водой. Подвижный водоохлаждаемый катод и медный анод с щелевой системой водяного охлаждения. Спектр лампы (рис. 1) близок к солнечному [1], однако в настоящее время она снята с производства по причине нерентабельности. Поскольку ресурс лампы ограничен (200 часов) и имеющиеся лампы свой ресурс выработали, возникла необходимость замены источника излучения.

Анализ рынка показал, что конкурентоспособной альтернативой могут выступать лампы семейства ХВО. Эти лампы также довольно доступны по цене (поскольку серийно производятся), наиболее широко их применение в кинопромышленности.

Лампы ХВО принадлежат к семейству газоразрядных ламп. В данных лампах свет генерируется разрядной ду-

гой, свободно воспламеняющейся в чистом ксеноне между двумя электродами. Длина дуги такая же, как расстояние между двумя электродами и составляет всего лишь несколько миллиметров [2].

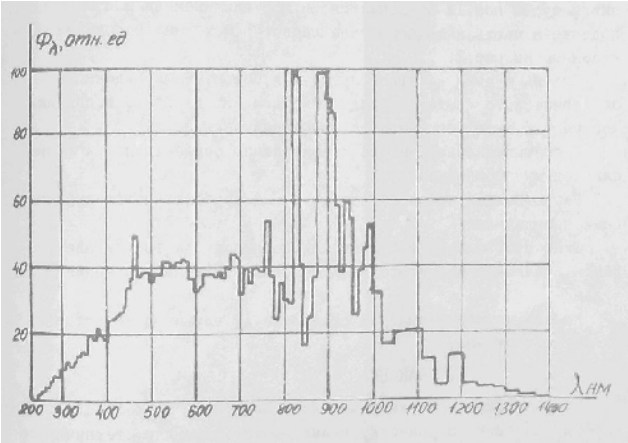


Рис. 1. Спектральное распределение лучистой энергии лампы ДКсРМ-55000-УХЛ-4

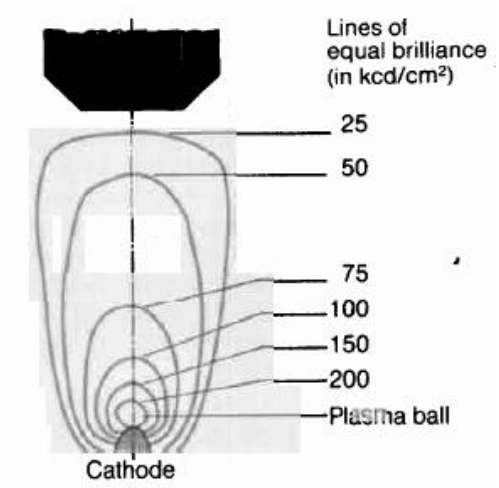


Рис. 2. Распределение яркости в дуге лампы ХВО

Основная часть энергии в дуге лампы сосредоточена внутри плазменного шарика размером 2...3 мм (рис. 2). Это означает, что лампы очень близки к идеальному точечному источнику света, что особенно важно для применения их в имитаторах солнца: размещение лампы в фокусах оптических элементов позволяет с наибольшей точностью создавать и направлять световой поток в необходимое поле.

Сравнение спектральной интенсивности излучения лампы ХВО с излучением абсолютно черного тела при заданной цветовой температуре (рис. 3) показывает, что лампа ХВО имеет сплошной спектр в видимом диапазоне излучения, по интенсивности совпадающий с солнечным [2].

Подтверждение характеристик и возможность применения ламп типа ХВО для имитации солнечного излучения при тепловакуумных испытаниях была отработана на экспериментальном стенде (рис. 4).

В состав стенда вошли: кинопроекционный аппарат Kinoton с лампой ХВО 10000 W/HS OFR (рис. 5) [3]; датчик мощности светового потока КФЛП (кремниевый фотопреобразователь лучистого потока), закрепленный на передвижном устройстве (рис. 6); экран для формирования светового пятна.

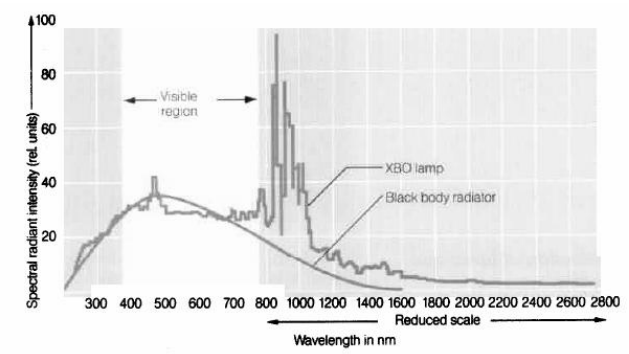


Рис. 3. Спектральная интенсивность излучения лампы ХВО

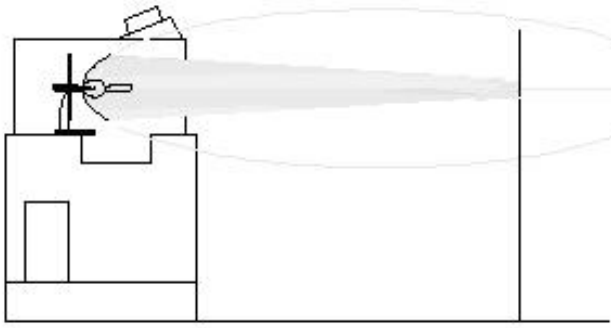


Рис. 4. Схема экспериментального стенда для проверки характеристик лампы ХВО 10000 W/HS OFR

Рис. 5. Кинопроекционный аппарат Kinoton с лампой ХВО

Датчик КФЛП представляет собой набор кремниевых пластинок, преобразующий поступающую на него солнечную энергию в электрический ток. По уровню электрического сигнала и определяется мощность светового потока, падающего на пластину. Для сбора излучаемых

лампой во все стороны лучей используется эллипсоидный рефлектор. Лампа ХВО, установленная в первом фокусе рефлектора, излучает световой поток, который далее, отражаясь от зеркальных стенок рефлектора, должен собраться во втором фокусе. Это выполняется при условии идеально точечного источника. Поскольку реальный источник имеет конечные размеры, в задачу эксперимента входило выяснить, насколько лампа ХВО применима в качестве источника излучения и какое количество ламп необходимо для создания требуемой освещенности в рабочем объеме термобарокамеры.

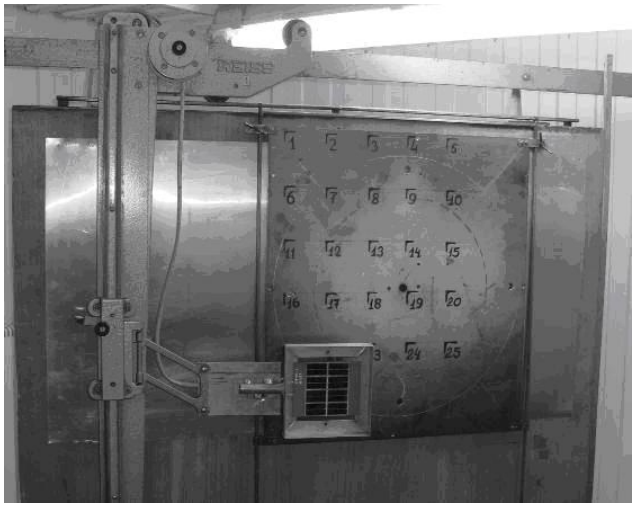


Рис. 6. Экран с разметкой для сканирования плотности потока

Экран представляет собой плоскую металлическую поверхность с нанесенной разметкой, соответствующей габаритным размерам рабочей поверхности фотопреобразователя и соответственно разбит на 25 участков. Размещается экран вертикально во втором фокусе эллипсоидного рефлектора. Центральная зона экрана, дуга лампы и рефлектор расположены на одной оптической оси.

В целях проверки соответствия диапазону допустимых значений КФЛП произведена грубая оценка мощности, попадающей на этот датчик:

$$P = P_{л} \cdot K_{кпд} \cdot K_{охв} \cdot K_{отр} \cdot K_{пл},$$

где $P_{л}$ – мощность, установленная на лампе; $K_{кпд}$ – КПД лампы; $K_{охв}$ – коэффициент угла охвата поверхностью рефлектора лучей от лампы; $K_{отр}$ – коэффициент отражения рефлектора; $K_{пл} = 125$ из учета соотношения размерности выходной величины КФЛП (Вт/м^2) и его собственной площади (0,008 м^2).

Принимая $P_{л} = 2\,560$ Вт, $K_{кпд} = 0{,}6$, $K_{охв} = 0{,}6$, $K_{отр} = 0{,}85$, получаем $P = 97\,920$ (Вт/м^2).

Учитывая диапазон измерения датчика КФЛП (0...3 000 Вт/м^2), принято решение изготовить ослабляющую сетку из латуни с ослаблением примерно в 97 920/3 000 = 32,6 раз.

Далее в ходе эксперимента включалась лампа на уровне 2 560 Вт, на экране формировалось световое пятно и последовательным перемещением датчика КФЛП по участкам экрана производилось сканирование поля размерами 400 × 500 мм. Усредненные данные (значения освещенности в Вт/м^2) по шести замерам сведены в таблицу.

По полученным данным построено распределение мощности внутри сформированного пятна (рис. 7).

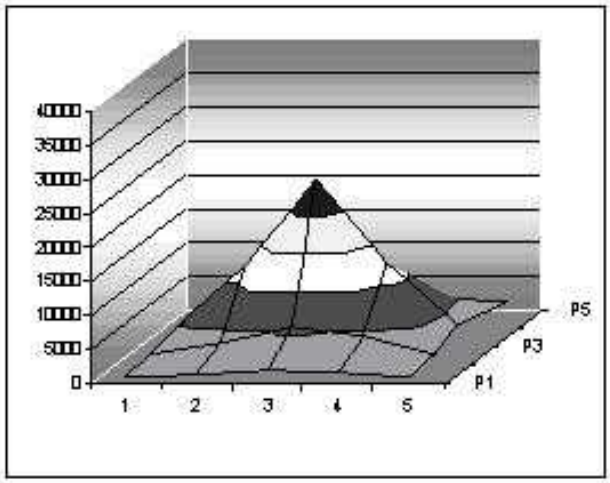


Рис. 7. Распределение мощности внутри светового пятна

Анализ данных замеров показал, что в центральной зоне (240 × 300 мм – 9 средних элементов таблицы) сосредоточено 74 % световой энергии, падающей на экран, а на периферию попадает 26 % энергии.

Учитывая диаметр входного блока термобарокамеры (блока, через который вводится световой поток внутрь камеры) – 350 мм, для последующего расчета принято, что на входной блок попадает энергия, приходящаяся на 9 средних элементов.

Суммарная мощность света, поступающая на входной блок, рассчитана по формуле

$$P_{сумм} = \left(\sum_{i=1}^{9} P_{КФЛП}\right)/K_{пл}.$$

Таким образом

$$P_{сумм} = 677 \text{ (Вт)}.$$

Если рассмотреть световой поток на пути через входной блок и далее – в термобарокамере ТБК-120 он также несет определенные потери.

Входной блок состоит из смесителя и иллюминатора, обеспечивающего герметичность в барокамере при испытаниях. Здесь имеются четыре кварцевые поверхнос-

Освещенность экрана по зонам (Вт/м^2)

984	1 599	1 968	1 722	1 107
1 722	3 321	5 658	4 428	1 845
2 644,5	11 931	24 600	12 423	3 444
2 263,2	6 519	11 070	4 674	2 337
1 107	1 845	2 214	1 845	1 230
			сумма	114 500

ти. Принимая потери на одной кварцевой поверхности за 4 % [4], получим потери на входном блоке 16 %.

Внутри барокамеры расположено коллимирующее зеркало. После смесителя световой поток поступает на это зеркало, отражается и направляется внутрь термобарокамеры, образуя световой поток в сечении 2×1м^2.

Принимая коэффициент отражения коллимирующего зеркала 0,85, имеем потери внутри камеры 31 %.

Так, по экспериментальным данным, на площадь 2 м^2 приходится 467,13 Вт световой мощности от одной лампы (при установленной мощности на лампе 2 560 Вт). Или в рабочей зоне термобарокамеры имеем плотность светового потока 467,13 / 2 = 233,6 (м^2).

Исходя из требований, предъявляемых к имитатору солнца (плотность потока 1 340...1 440 Вт/м^2), рассчитано количество ламп, необходимое для формирования необходимой плотности потока:

$$N = 1\,440 / 233{,}6 = 6{,}2 \text{ (шт.)}.$$

Следовательно, для создания светового потока необходимой плотности при тепловакуумных испытаниях достаточно суммировать потоки от семи ламп.

Учитывая, что эксперимент проведен для мощности лампы 2 560 Вт, а максимальная мощность лампы составляет 10 000 Вт, можно говорить о запасном ресурсе ламп. Это позволяет эксплуатировать их в самом щадящем режиме, что в свою очередь может обеспечить более долгий срок их эксплуатации.

Таким образом, результаты эксперимента подтверждают возможность и желательность использования ламп OSRAM XBO 10 000OFR в имитаторах солнечного излучения. При этом необходимо произвести расчет и построение светооптической схемы суммирования потоков от семи ламп XBO.

Если провести сравнение эксплуатационных характеристик используемых ранее в имитаторе солнца ламп ДКсРМ-55 000 и ламп OSRAM XBO 10 000OFR, можно обозначить следующее: лампа ДКсРМ-55 000 имеет электрическую мощность 55 кВт, оптическую мощность примерно 15 кВт, при этом требуется водяное охлаждение лампы (что довольно затратно), средний ресурс лампы составляет 200 часов. Лампа OSRAM XBO 10000 XBO при электрической мощности 10 кВт обеспечивает оптическую мощность приблизительно 6 кВт, требуется лишь воздушное принудительное охлаждение и средний ресурс лампы составляет 500 часов.

Учитывая также другие характеристики ламп (стабильную световую дугу; работу от постоянного тока; возможность повторного зажигания из горячего состояния; полный световой поток практически сразу после зажигания), можно утверждать, что лампы довольно удобны в эксплуатации.

Кроме того, широкое применение ламп XBO в медицине и кинопромышленности делает их доступными по цене, поскольку налажен их серийный выпуск.

Библиографические ссылки

1. Лампа ДКсРМ-55 000-УХЛ-4 : техн. описание ИКБЖ 675 637. 004 ТО.

2. XBO Theatre Lamps. Technology and Applications [Electronic resource] // Osram Sylvania Inc. URL: www.osram.com (data of visit 13.04.2010).

3. Kinoton. Operating Manual // Lamphouse. 2003. № 12.

4. Прикладная оптика : учеб. пособие для приборостроит. специальностей вузов / Л. Г. Бебчук, Ю. В. Богачев, Н. П. Заказнов и др. ; под общ. ред. Н. П. Заказнова. М. : Машиностроение, 1988.

S. A. Krat, A. A. Filatov, V. V. Hristich

SPACECRAFT THERMAL VACUUM TESTING: AN EXPERIENCE OF CREATION OF SUNLIGHT SIMULATOR BASED ON THE HIGH-PRESSURE GAS-DISCHARGE LAMPS

This work considers a possibility to use the commercial xenon lamps of XBO-series for creation of a Radiation source integrated into Sunlight Simulators. The experimental studies of lamp photonic characteristics have been performed.

Keywords: thermal vacuum test, sunlight simulator, radiation source, light flux, XBO-lamp.

© Крат С. А., Филатов А. А., Христич В. В., 2010

УДК 004.32:37.018

Е. Е. Шукшина

МУЛЬТИЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ АДАПТИВНО-ОБУЧАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЯЗЫКОВОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Представлена структура процесса обучения при индивидуальной языковой подготовке специалистов. На основе концепции сетевой образовательной среды рассмотрена реализация базовых компонентов мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии.

Ключевые слова: адаптивное обучение, образовательная среда, языковая подготовка, мультилингвистическая технология.

Внедрение автоматизированных систем обучения, активное применение новых информационных технологий в образовательных учреждениях открывают широкие возможности для интенсификации и индивидуализации учебного процесса [1].

Знание иностранных языков в настоящее время является необходимым атрибутом современного квалифицированного специалиста. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективных методов обучения иностранному языку. Уровень обучения в вузах ограничивается количеством часов, выделяемых на изучение предмета, что заставляет искать эффективные, наиболее экономичные приемы обучения языку.

В последнее время в связи с развитием компьютерных технологий широкое распространение получили новые формы образования – системы индивидуального обучения. Применение компьютера при обучении позволяет сделать процесс получения знаний интересным, увлекательным, высокооперативным. Повышение качества обучения достигается за счет индивидуальной работы учащегося с учебным материалом.

Система обучения представляет собой совокупность взаимодействующих элементов:

– программ обучения, разработанных с учетом реальных потребностей в повышении уровня знаний пользователей;

– подразделений, занимающихся выявлением потребностей в обучении, управлением и оценкой эффективности и качества обучения;

– сети учреждений и подразделений, непосредственно занимающихся обучением, независимо от их организационно-правовых форм, типов и видов, реализующих принятые программы обучения.

При построении системы обучения одним из основных факторов является формирование требований к уровню и объему знаний, навыкам и умениям.

Использование автоматизированных обучающих систем непосредственно для обучения связано с выполнением компьютером следующих взаимосвязанных функций: управлением учебной деятельностью; хранением и выдачей учебной информации; моделированием лабораторных экспериментов, явлений, ситуаций, закономерностей и т. д.; анализом сообщений и ответов обучаемых; регистрацией, хранением и обработкой результатов учебной деятельности обучаемых.

Мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология [2] применяется для создания систем обучения, способствующих интенсивному накоплению иностранного профессионально-ориентированного словарного запаса у специалистов и студентов, сталкивающихся с иностранной лексикой в процессе работы с иностранной литературой или сотрудничества с иностранными коллегами.

В центре современной мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии лежат два взаимосвязанных компонента – информационно-терминологический базис (ИТБ) и технология обучения [3].

Прежде чем рассмотреть вопросы реализации базовых компонентов, сформулируем основные положения, позволяющие представить структуру процесса обучения. Основываясь на концепции сетевой образовательной структуры, можно, опираясь на частные формализованные представления учебного процесса (в том числе, языковой подготовки), конструировать различные структуры адаптивных и субоптимальных алгоритмов в соответствии с выбранными критериями [1].

Анализ возможных структур, представленный в [1], позволяет сделать вывод о том, что мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология соответствует (в зависимости от реальной реализации в виде компьютерной системы) ряду возможных процессов обучения (ПО). Рассмотрим, например, структуру ПО, которая отражает ситуацию одновременного обучения группы учащихся с использованием одного мультилингвистического ИТБ (рис. 1). Частной реализацией данной структуры является система одномерной языковой подготовки (англо-русский, англо-немецкий ИТБ и т. д.).

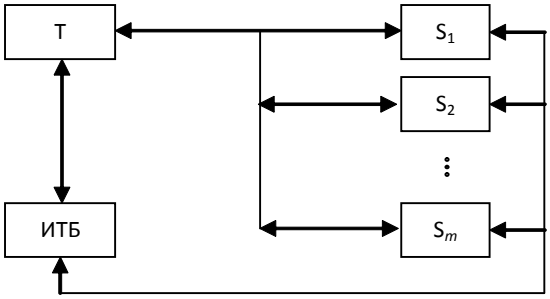


Рис. 1. Одновременное обучение группы учащихся с использованием одного ИТБ: Т – преподаватель (в общем случае, виртуальный); S_1, S_2, …, S_m – обучаемые

Следует отметить, что данная структура приводит к повышению производительности ПО только при тщательном подборе группы обучаемых. Имея в реальной системе разных учеников и определяя цель как обязательное

обучение всех, мы будем достигать лишь производительности самого «медленно обучающегося» ученика [1].

Следующий вариант структурной схемы (рис. 2) соответствует одновременному обучению группы с использованием многих (набора разных) ИТБ, т. е. каждый обучаемый самостоятельно (или по рекомендации преподавателя) выбирает свой ИТБ (ИТБ$_1$, ИТБ$_2$, …, ИТБ$_k$). В этой структуре добавляются множественные связи компонентов, и она является более гибкой. Обеспечивается не только снижение времени на обучение, но и повышение эффективности обучения, так как присутствуют элементы индивидуального подхода к ученику и имеется возможность адаптации ИТБ к требованиям обучаемого.

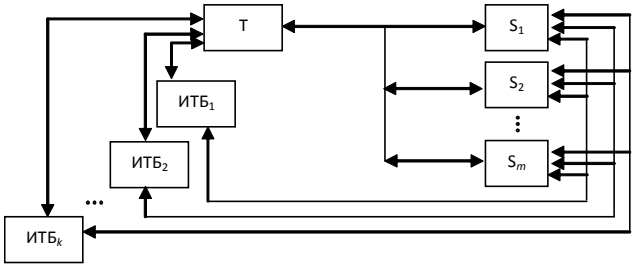


Рис. 2. Одновременное обучение группы с использованием многих ИТБ

Если в предыдущей структуре установить множественные связи преподавателя с учениками (в этом случае нагрузка на преподавателя еще больше возрастет), то мы получим ПО, который в [1] назван индивидуальным обучением в группе, когда преподаватель контролирует обучение, т. е. решает, какую следующую порцию знаний и умений ученику надо получить. Преимущество данной схемы может быть в полной мере реализовано только в случае, когда такой компонент, как преподаватель, будет дублироваться. Это повысит пропускную способность данного компонента и позволит использовать достоинства как индивидуального, так и группового обучения. При этом не обязательно предполагать, что преподаватели (обучающие алгоритмы) – одинаковы. Имеется принципиальная возможность построить адаптивные обучающие алгоритмы, настраиваемые в каждом конкретном случае (на каждом сеансе обучения) на конкретного обучаемого. Этот подход соответствует структуре с множеством преподавателей (рис. 3), реализующих различные алгоритмы обучения, или адаптирующихся к обучаемому, позволяя тем самым снизить время обучения слабого ученика, повысить эффективность обучения сильного ученика.

Множество информационных связей структурной схемы ПО, представленной на рис. 3, назовем мультилингвистической средой информационно-образовательного взаимодействия. Следует отметить, что в отличие от традиционного процесса обучения, который при наличии множества предметных дисциплин становится многомерным, ПО, реализуемый с помощью мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии, остается одномерным процессом при наличии многомерного информационно-терминологического базиса. С другой стороны, ИТБ также может быть реализован как одномерный, если установлено взаимно однозначное соответствие между разноязычными компонентами ИТБ$_1$, ИТБ$_2$, …, ИТБ$_k$.

Как правило, множество элементов структуры ПО, информационно связанных друг с другом посредством среды образовательного взаимодействия [1], образуют информационно-образовательную сеть (в нашем случае – мультилингвистическую).

Очевидно, что реализация мультилингвистической информационно-образовательной сети в традиционном обучении – практически невыполнимая задача. Автоматизация процесса обучения для данной структуры требует, в первую очередь, автоматизации формирования ИТБ (по запросам обучаемых, вплоть до динамического формирования ИТБ), а также компьютерной поддержки технологии адаптивного обучения в интерактивном режиме.

Информационно-терминологический базис мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии представлен в виде электронных частотных словарей, последующее разбиение которых по частотам используется при обучении.

Частотный словарь регистрирует слова, словоформы или словосочетания, которые встретились в исследованном для его составления тексте (выборке). При этих элементах в словаре указываются их частоты, т. е. цифры, показывающие, сколько раз каждая словарная единица (элемент) встретилась в данном тексте.

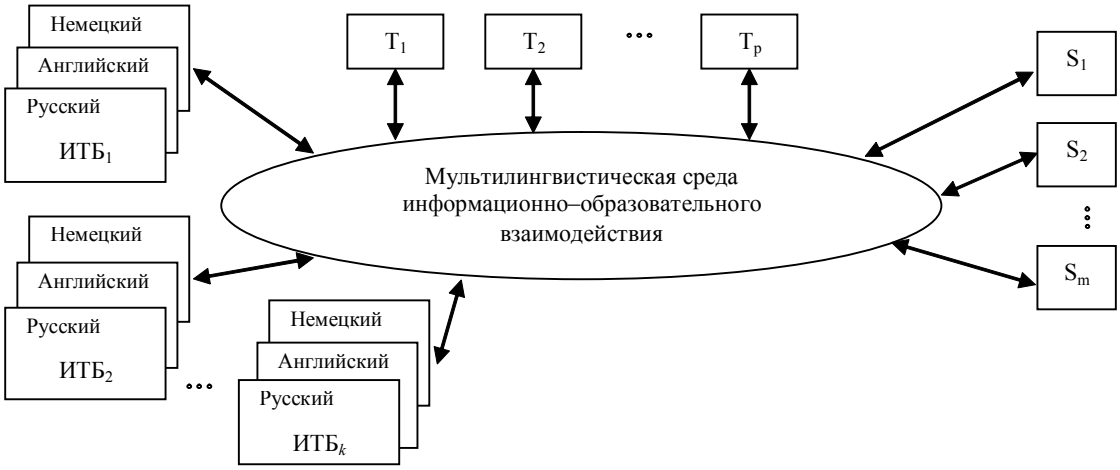


Рис. 3. Мультилингвистическая среда информационно-образовательного взаимодействия

Составление частотного словаря требует значительных затрат времени, знакомства со статистической методикой наблюдений, определенной лингвистической квалификации и владения языком, на котором написан исследуемый текст.

Для составления двуязычного частотного словаря, который отражал бы точную статистику слов иностранного языка и статистику их соответствий в языке перевода, потребуется во много раз больше времени и усилий, чем для создания одноязычного частотного словаря. В идеале такой двуязычный словарь можно было бы получить, фиксируя вместе с каждым случаем употребления слова на иностранном языке его точный перевод. Для этого необходимо либо иметь один и тот же текст на обоих языках, либо переводить иностранный текст по ходу его анализа.

Не столь точный, но зато менее трудоемкий способ – это независимое составление частотных словарей на исходном языке и языке перевода по текстам, близким по содержанию. В дальнейшем эти словари объединяются в двуязычный частотный словарь.

Наконец, наиболее простая процедура – это перевод одноязычного частотного словаря. Надежность перевода несколько повышается благодаря узкой тематической направленности текстов, поскольку из всех возможных значений слова выбираются лишь те, которые относятся к данной тематике.

Создание двуязычного частотного словаря связано с определенными трудностями качественного и количественного характера: нелегко решить, какие именно тексты следует считать достаточно хорошо представляющими литературный язык. Не менее сложным является и вопрос о достаточном для такого словаря общем объеме текстов. Словари, базирующиеся на выборках меньшего объема, являются недостаточно представительными, чтобы по ним можно было судить о лексике языка в целом.

Разработку мультилингвистических электронных частотных словарей необходимо осуществлять в соответствии с тенденциями изменения спроса на рынках образовательных услуг и согласно направлениям и проблематике научных и научно-технических исследований, необходимых для развития ключевых направлений научной и образовательной деятельности в сфере сохранения и приумножения научно-технического потенциала.

Частотные словари составляются в большинстве своем для обучения языку, но некоторые из них, в том числе первый из крупных словарей (частотный словарь немецкого языка), создавались для разработки системы стенографии, обучения чтению слепых, для усовершенствования орфографии, для повышения пропускной способности каналов связи.

Формирование информационно-терминологического базиса мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии на основе электронных частотных словарей позволяет использовать для его информационно-логической организации современные структурные методологии и базовые конструкции диаграмм Варнье–Орра [1].

Главное требование к современным компьютерным обучающим системам состоит в том, чтобы обеспечивать максимальную степень индивидуализации процесса обучения, т. е. его адаптациию к каждому конкретному ученику, что не всегда осуществимо при традиционных методах массового обучения. Данное свойство адаптивной технологии дает возможность самостоятельного обучения.

Адаптация в обучающей системе – это процесс изменения параметров и структуры модели объекта (обучаемого) и обучающих воздействий на основе текущей информации, получаемой в ходе обучения, с целью достижения оптимального состояния объекта при его начальной неопределенности и изменяющейся среде.

При организации обучения и контроля знаний в специально оборудованных классах программированного обучения, снабженных видеотерминалами, можно учесть при оценке качества выполнения заданий не только количество ошибок, но и время, затраченное обучаемым на каждый вопрос, что позволяет точнее оценить степень обученности.

Авторами задача обучения формализуется в виде задачи управления, что дает возможность использовать базовые принципы управления сложными объектами. Результатом управления будет достижение поставленных целей обучения. В этом случае ученик выступает в качестве объекта управления, а учитель или обучающее устройство – в качестве источника управления.

В силу специфики задачи изучения иностранной терминологической лексики при разработке алгоритмического обеспечения мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии требуется построение модели обучаемого, предполагающей учет факторов, характеризующих процессы запоминания терминов, и наличие ассоциаций с терминологией ранее изучавшихся обучаемым иностранных языков.

Одним из психологических факторов, определяющих специфику процесса коммуникации с компьютером, является внимание – первая реакция на коммуникативный акт и, как следствие его, умственная активность обучаемого. Управление вниманием обучаемого способствует эксплицитному выражению ситуации во всех ее лексико-грамматических проявлениях, а через нее – и текста.

Обучение с экрана компьютера апеллирует и к эмоциональной сфере участника диалога в виде поощрительных или (при недостаточно усвоенном материале) отрицательных комментариев на качество выполненных упражнений.

В качестве модели обучаемого предлагается модификация адаптивной модели обучаемого Л. А. Растригина [4] применительно к мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии.

Ядром мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии является алгоритм обучения, работающий на основе адаптивной модели обучения, учитывающей индивидуальные факторы процессов запоминания и забывания каждого конкретного обучаемого.

Применение мультилингвистического подхода позволяет генерировать ассоциативное терминологическое поле вокруг запоминаемых терминов и модифицировать адаптивную модель обучаемого Л. А. Растригина с учетом ассоциативных параметров при коррекции скорости забывания и вероятностей незнания элементов обучающей информации.

Системная архитектура мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии [1] включает три четко определенных слоя (базу данных, правила, сеанс обучения), отражающих возрастание уровня абстракции в предлагаемой архитектуре.

Преимущества предлагаемой трехслойной системной архитектуры мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии обеспечиваются независимостью слоев и согласованием информационной и функциональной моделей.

Как правило, комплекс программного обеспечения обучения включает в себя программы, позволяющие компьютеризировать организацию процесса обучения (базы данных), программы, используемые для подготовки учебных материалов (инструментальные программы) и программы, предназначенные непосредственно для обучения.

Мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология реализована в виде программного комплекса, включающего «Систему анализа и обработки мультилингвистической информации для адаптивного управления процессом обучения» [5] и «Систему программно-алгоритмической поддержки мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии» [6].

Касаясь анализа и обработки текстовой информации, следует отметить, что мультилингвистический частотный словарь может быть составлен для двух и более языков. В программе анализа мультилингвистической информации [5] каждый язык представлен отдельно в виде формы языка, но в то же время он связан с остальными языками, присутствующими в словаре. Заполнение словаря осуществляется путем выбора слов из текста, загружаемого на первую вкладку каждой формы языка. Затем оператор устанавливает соответствие между словами двух языков на второй вкладке. При установлении соответствия на одной из форм на второй соответствие устанавливается автоматически.

Библиографические ссылки

1. Монахов М. Ю. Информационная образовательная сеть // Информ. технологии. 2001. № 7. С. 36–47.

2. Ковалев И. В. Системная архитектура мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии и современная структурная методология // Телекоммуникации и информатизация образования. 2002. № 3 (10). С. 83–91.

3. Kovaleva T., Karasyova M., Souzdaleva E. Information training technology: learner's memory state model // J. of AMSE Periodicals "Advances in Modeling". Series B. 2002.Vol. 45. №. 1. P. 21–32.

4. Растригин Л. А., Эренштейн М. Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. Рига : Зинатне, 1988. 160 с.

5. Карасева М. В. Система анализа и обработки мультилингвистической информации для адаптивного управления процессом обучения : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2002. 19 с.

6. Суздалева Е. А. Система программно-алгоритмической поддержки мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск. 2002. 19 с.

E. E. Shukshina

MULTILINGUAL ADAPTIVE LEARNING TECHNOLOGY FOR INDIVIDUAL LANGUAGE TRAINING OF SPECIALISTS

The article presents a structure of educative process in individual language training of specialists. Realization of basic components of multilingual adaptive educatory technology is considered on the basis of educatory milieu concept.

Keywords: adaptive learning, educational milieu, linguistic skill, multilingual technology.

© Шукшина Е. Е., 2010

УДК 658.386.3.633.33

Е. Е. Милосердов

ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ХОДОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Рассматривается алгоритмизация динамической модели ходового движителя роторного экскаватора при его перемещении, приведены основные схемы и формулы, используемые при алгоритмизации динамической модели.

Ключевые слова: алгоритмизация, движитель, контур, момент, реакция.

Для определения опорных реакций, моментов и нагрузок, возникающих при перемещении роторного экскаватора в забое, рассматриваются многоопорные контуры в виде расчетных схем, что в свою очередь поможет произвести оценку технического состояния роторного экскаватора [1].

При анализе воздействия на динамику машины ходового механизма экскаватора мы не касаемся системы уравнений движения машины, а рассматриваем специфические вопросы алгоритмизации непосредственно ходовых механизмов и их связей со всей машиной в рабочих режимах.

Реакции от действия силы G определяются в зависимости от положения проекции этой силы на опорный контур с учетом смещения точки проекции относительно геометрического центра опорного контура. Если ось верхнего строения не совпадает с точкой проекции силы G и геометрическим центром, тогда учитываются оба смещения. В этом случае необходимо рассматривать два центра масс, с приложением G_1 – силы тяжести неповоротной части машины с выбегом Q и G_2 – силы тяжести поворотной части с выбегом равнодействующей S_0 относительно оси поворота.

Тогда равнодействующая реакция в опорной точке контура

$$R_{Tj} = R'_{Tj} + R''_{Tj},$$

где R'_{Tj} – постоянная часть реакции от действия силы G_1; R''_{Tj} – переменная часть реакции от действия силы G_2.

Расчет проводится методом жесткого рычага путем решения системы алгебраических уравнений. Опорные реакции от действия горизонтальных сил инерции определяются с учетом данных, получаемых при решении системы уравнений движения динамической модели экскаватора. В этом случае используется система алгебраических уравнений, преобразующая действие момента от горизонтальной равнодействующей силы инерции, приложенной в центре масс на высоте H, в опорные реакции [2].

Полная опорная реакция будет определяться уже как сумма трех слагаемых

$$R_{Tj} = R'_{Tj1} + R'_{Tj2} + R''_{Tj},$$

где R'_{Tj1}, R'_{Tj2} – реакции соответственно от действия сил G_1 и G_2; R''_{Tj} – реакции действия момента от действия горизонтальной силы инерции.

Оценка доли опорной реакции R''_{Tj} по отношению к полному значению R_{Tj} показывает, что при значении $R''_{Tj} / R_{Tj} \le 0{,}1$, значением R_{Tj} можно пренебречь. Расчетные схемы для определения опорных реакций в общем виде для многоопорных контуров показаны на рис. 1.

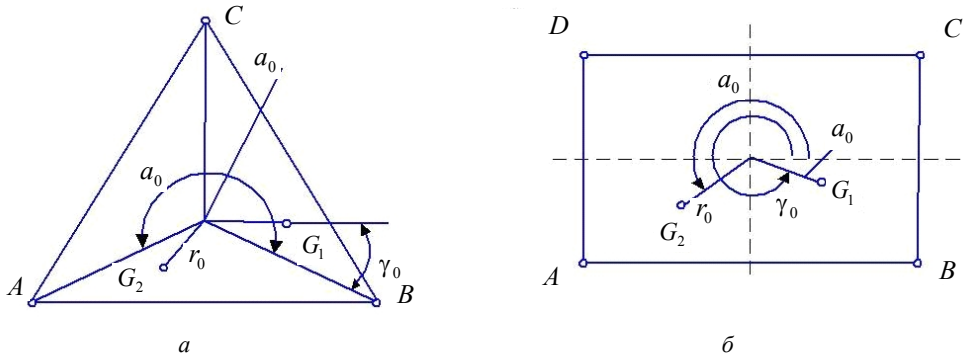
Расчетные зависимости для определения опорных реакций по рис. 1, *а* получаются использованием уравнений моментов сил относительно сторон опорного треугольника:

$$\left.\begin{aligned} \Sigma M_{AB}(R) = 0 \to R'_{Cj}, \\ \Sigma M_{AC}(R) = 0 \to R'_{Bj}, \\ \Sigma M_{CB}(R) = 0 \to R'_{Aj}. \end{aligned}\right\}$$

Для определения опорных реакций опорного контура по рисунку 1, *б* используем систему уравнений

$$\left.\begin{aligned} M_{AB}(R_D) + M_{AB}(R_C) = M_{AB}(G) = (R_D + R_C)\, l_{AD}, \\ M_{CB}(R_A) + M_{CB}(R_D) = M_{CB}(G) = (R_A + R_D)\, l_{AB}, \\ M_{DC}(R_A) + M_{DC}(R_B) = M_{DC}(G) = (R_A + R_B)\, l_{AD}, \\ M_{AD}(R_B) + M_{AD}(R_C) = M_{AD}(G) = (R_C + R_B)\, l_{AB}. \end{aligned}\right\}$$

Отсюда



а *б*

Рис. 1. Расчетные схемы для определения опорных реакций в общем виде для многоопорных контуров: A, B, C, D – точки, определяющие контур; a_0 – угол отклонения от начала отсчета; r_0 – радиус смещения центра масс; G_1 и G_2 – силы тяжести; γ_0 – постоянное угловое смещение центра масс неповоротной части относительно геометрического центра опорного контура

$$\left.\begin{aligned} R'_D + R'_C &= M_{AB}(G)/l_{CB}, \\ R'_A + R'_D &= M_{CB}(G)/l_{AB}, \\ R'_A + R'_B &= M_{DC}(G)/l_{CB}, \\ R'_C + R'_B &= M_{AD}(G)/l_{AB}. \end{aligned}\right\}$$

Из данной системы уравнений определяются R'_A, R'_B, R'_C, R'_D. Опорные реакции от действия горизонтальных составляющих сил инерции определяются в соответствии со схемой на рис. 2. Для трехопорного контура (рис. 2, *а*) учитываем моменты от проекций горизонтальных сил на перпендикулярное направление к соответствующим сторонам треугольника, например:

$$M_{AC}(F) = F_{AC1}H_1 + F_{AC2}H_2,$$

$$M_{BC}(F) = F_{BC1}H_1 + F_{BC2}H_2,$$

где F_{AC1}, F_{AC2} – проекции на перпендикуляр к стороне AC сил инерции соответственно первой и второй масс, расположенных на высотах H_1 и H_2.

Тогда реакции определятся формулами

$$\left.\begin{aligned} R''_B &= M_{AC}(F)/h_B(AC), \\ R''_C &= M_{AB}(F)/h_C(AB), \\ R''_A &= M_{BC}(F)/h_A(CB), \end{aligned}\right\}$$

где $h_B(AC)$, $h_C(AB)$, $h_A(CB)$ – плечи до опорных точек от соответствующих сторон.

Для четырехопорного контура (рис. 2, *б*), аналогично учитываем моменты от проекций горизонтальных сил типа $M_{AB}(F) = F_{AB1}H_1 + F_{AB2}H_2$. Тогда реакции определяются из системы уравнений

$$\left.\begin{aligned} R_D + R_C &= M_{AB}(F)/l_{CD}, \\ R_A + R_B &= -\ M_{AB}(F)/l_{CD}, \\ R_C + R_B &= M_{AB}(F)/l_{AB}, \\ R_D + R_A &= -M_{AD}(F)/l_{AB}. \end{aligned}\right\}$$

Из данной системы уравнений определяются R''_A, R''_B, R''_C, R''_D.

Полные опорные реакции будут определяться по формулам

$$R_A = R'_A + R''_A;\ R_B = R'_B + R''_B;$$

$$R_C = R'_C + R''_C;\ R_D = R'_D + R''_D.$$

Значения полных опорных реакций используются для определения сопротивления передвижению машины.

Сопротивление повороту при движении экскаватора определяется тремя факторами: тяговым усилием на ведущих тележках F_i, сопротивлением прямолинейному движению на каждой тележке W_i и моментами сопротивления развороту относительно общего динамического центра разворота M_i^W; M_i^S; $F_i^W \cdot l_i$. Рассматривается силовое равновесие машины при развороте через следующую систему уравнений.

1. Сумма моментов относительно общего динамического центра поворота:

$$\sum F_i\rho_i - \sum M_i^W - \sum M_i^S - \sum F_i^W \cdot l_i - \sum W_i\rho_i = 0.$$

2. Сумма проекций всех сил на ось X:

$$\sum F_i\cos\alpha_i - \sum F_i^W\sin\alpha_i - \sum W_i\cos\alpha_i = 0.$$

3. Сумма проекций всех сил на ось Y:

$$\sum F_i\sin\alpha_i - \sum F_i^W\cos\alpha_i - \sum W_i\sin\alpha_i = 0,$$

$$F_i^W = 2\mu \cdot R_{Ti}l_i/L',$$

где F_i^W – сила сопротивления боковому смещению тележки; L' – длина опорной поверхности гусеницы; l_i – смещение точки приложения силы $F_i'^W$ относительно динамического центра поворота (плечо силы F_i^W); ρ_i – радиус от динамического центра поворота до главной продольной оси тележки; $M_i^{(S)}$ – момент, действующий на спаренных тележках при действии на них разных сопротивлений передвижению.

Например, при спаренных тележках $i = 1{,}2$:

$$M_i^S = \frac{1}{2}(W_2 - W_1)B/2,$$

где B – колея тележки, м.

С учетом принимаемых зависимостей предлагается следующий алгоритм решения.

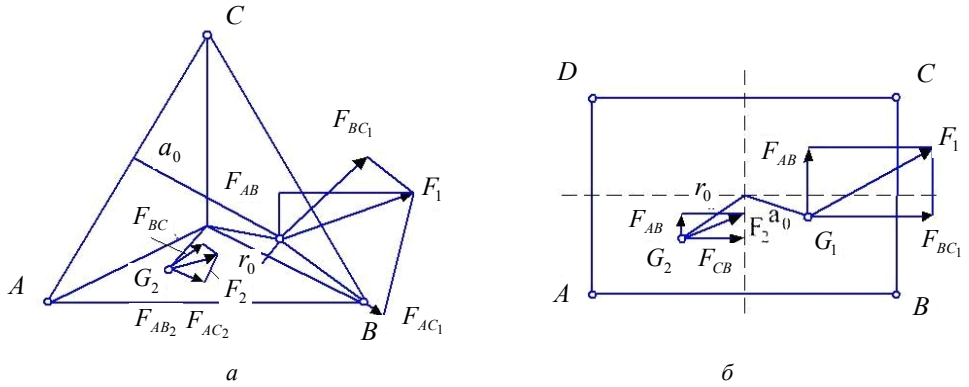
1. Определяются радиусы ρ_{Hi} до тележек относительно геометрического центра поворота, при $l_i = 0$, которые и принимаются за начальные условия

$$\rho_{Hi} = f(\alpha_i).$$

2. При значении тягового усилия

$$F_i = A_iK_{1i}K_{2i} - B_iK_{2i} \cdot (\omega_м\rho_i).$$

Угловая скорость разворота машины:



а *б*

Рис. 2. Расчетные схемы для определения опорных реакций для четырехопорного контура: A, B, C, D – точки, определяющие контур; a_0 – угол отклонения от начала отсчета; r_0 – радиус смещения центра масс; G_1 и G_2 – силы тяжести; F_{AC1}, F_{AC2} – проекции на перпендикуляр к стороне AC сил инерции соответственно первой и второй масс, расположенных на высотах H_1 и H_2

$$\omega_м = \frac{\sum A_i K_{1i} K_{2i} - \sum M_i^{(W)} - \sum F_i^{(W)} l_i - \sum M_i^{(S)} - \sum W_i \rho_i}{\sum B_i K_{2i} \rho_i}.$$

3. Определяется избыточное тяговое усилие на тележках

$$S_i = F_i - W_i.$$

4. Определяется выбег l_i силы $F_i^{(W)}$ как функция углов разворота б; тележек относительно линии центров смежных тележек (смежных опорных точек), опорных реакций R_{Ti} и некоторых главных конструктивных параметров опорного контура

$$l_i = \sum S_i Д_i,$$

где $Д_i = f(a_i, R_{Ti})$ – некоторая функция, зависящая от угла разворота и опорных реакций R_{Ti}.

6. Определяются радиусы от динамического центра поворота машины до тележек

$$\rho_i = f(a_i, l_i).$$

7. Производится подстановка новых значений r_i, l_i и сравнение с допустимым отклонением ε до установления неравенства:

$$\Delta\Sigma M(\rho_i, l_i) \le \varepsilon \rangle 0.$$

После окончания итерационного процесса принимаются полученные параметры ρ_i, l_i, S_i, ω_i и определяются силовые и кинематические значения.

Таким образом, алгоритм моделирования сопротивления перемещению экскаватора ходовым движителем должен учитывать весь комплекс сопротивлений передвижению совместно с тяговыми характеристиками электродвигателей ведущих гусеничных тележек.

Библиографические ссылки

1. Беляков Ю. И., Владимиров В. М. Рабочие органы роторных экскаваторов. М. : Машиностроение, 1967.

2. Домбровский Н. Г., Маевский А. Г. Теория и расчет гусеничного движителя землеройных машин. Киев : Техника, 1970.

E. E. Miloserdov

CONSTRUCTION OF DYNAMIC MODEL OF RUNNING MOVER OF ROTORING DREDGE

Algorithmization of dynamic model of running mover of running dredge at its moving, the basic schemes and the formulas used at algorithmization of dynamic model are resulted.

Keywords: algoritmization, mover, contour, moment, reaction.

© Милосердов Е. Е., 2010

УДК 551.510.42

А. Б. Ивановский, В. В. Шишов

АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИ ВАГАНОВА–ШАШКИНА ФОРМИРОВАНИЯ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ*

Для имитационной модели Ваганова–Шашкина формирования годичных колец древесных растений предложен алгоритм решения проблемы параметризации данной модели в случаях, когда доступна моделируемая сущность. Алгоритм реализован в виде dll-библиотеки (или tex-файла), апробирован на обширном материале. Введено понятие критерия отличия моделируемой древесно-кольцевой хронологии от ее модели. Предложены два новых критерия отличия.

Ключевые слова: модель Ваганова–Шашкина, древесно-кольцевая хронология, алгоритм параметризации, критерий отличия, оптимальные параметры модели.

Модель Ваганова Шашкина формирования годичных колец древесных растений [1; 2; 3] (далее VS-модель) описывает влияние климатических условий на клеточную структуру годичных колец. Основное предназначение модели заключается в использовании ее как инструмента, позволяющего для произвольной индивидуальной или обобщенной древесно-кольцевой хронологии (ДКХ) в течение набора лет с доступными метеостанционными данными (см. ниже описание входных данных VS-модели): выделить климатически обусловленную компоненту рассматриваемой ДКХ; указать, если качество моделирования рассматриваемой ДКХ VS-моделью удовлетворительно, для произвольных суток данного набора лет, какой из двух факторов – температура воздуха или осад-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-05-00900-а).

ки, лимитировал рост древесного растения, соответствующего этой ДКХ. ДКХ является временным рядом значений некоторой числовой характеристики соответствующего этой ДКХ дерева/деревьев [4].

VS-модель может служить тестером качества индивидуальных и обобщенных ДКХ, которые планируется использовать в роли посредников, несущих информацию о климатических данных [2]. ДКХ полагается пригодной для использования в роли такого посредника тогда и только тогда, когда выделенная VS-моделью ее климатически обусловленная компонента достаточно удовлетворительно согласуется с самой ДКХ.

VS-модель является детерминированной динамической имитационной моделью. Ее входные данные состоят из двух блоков.

Первый блок представляет собой климатические данные суточного разрешения по температуре воздуха, осадкам и дозам солнечной радиации, падающей непосредственно на земную поверхность. Данные этого блока могут относиться к произвольному набору лет, который не обязан быть непрерывным. Однако климатические данные за любой год не должны содержать отсутствующих значений.

Второй блок представляет собой набор значений параметров VS-модели. Модель имеет 42 параметра. Все параметры, кроме двух, являются вещественными однозначными переменными, причем три параметра – целочисленные однозначные переменные. Два параметра являются векторами равной размерности. Один вектор содержит вещественные однозначные переменные, второй – булевы однозначные переменные. Размерность векторов является параметром VS-модели.

Значение каждого параметра обеспечивает VS-модель информацией либо о моделируемом дереве, либо о его местообитании. VS-модель имеет 10 опций. Набор значений опций задает вариант VS-модели, который будет использован при моделировании. Опции VS-модели определяют совокупность ее модулей, запускаемых при моделировании, точность вычислений при моделировании и т. п.

Выходные данные VS-модели состоят из двух блоков. Данные первого блока являются численными характеристиками, отражающими динамику во времени, временной шаг отслеживания которой не превосходит одних суток, некоторых процессов, протекающих в смоделированных дереве и его местообитании (влажность почвы, величина транспирации дерева, количество камбиальных клеток и т. п.). Содержимое этого блока зависит от используемого набора значений опций VS-модели.

Второй блок выходных данных VS-модели является моделью ДКХ. VS-модель предполагает, что моделируемая индивидуальная ДКХ является временным рядом значений ширины сформировавшегося годичного кольца или количества клеток древесины в таком кольце. VS-модель предполагает, что все индивидуальные ДКХ, использованные при построении моделируемой обобщенной ДКХ, являются такими, как описано выше. Для каждого года климатических входных данных VS-модели второй блок содержит значение смоделированной ДКХ. Если моделировалась обобщенная ДКХ, то это значение не имеет единиц измерения. Если моделировалась индивидуальная ДКХ, то это значение либо не имеет единиц измерения, либо является количеством клеток древесины в годичном кольце (имеющий место вариант определяется используемым набором значений опций VS-модели).

Проблема параметризации и подход к ее решению для модели Ваганова–Шашкина. В области математического моделирования под термином «параметризация» обычно понимают либо деятельность по описанию некоторого процесса/явления посредством конечного числа параметров, т. е. создание параметрической математической модели этого процесса/явления, либо выбор конкретных значений параметров уже созданной параметрической математической модели. В данной статье термин понимается согласно второй трактовке.

Для запуска VS-модели необходимы конкретные числовые значения ее параметров. Набор этих значений должен обладать необходимой внутренней структурой, обусловленной взаимосвязями между параметрами VS-модели и диапазонами значений параметров. Смысловые нагрузки параметров, устройство VS-модели, семантики составляющих ее выходных данных и конкретный контекст, в котором осуществляется моделирование, задают упомянутые взаимосвязи и диапазоны значений. Как правило, проверка набора значений параметров VS-модели на наличие в нем необходимой внутренней структуры требует анализа выходных данных VS-модели, соответствующих этому набору.

При попытке задать конкретные значения параметрам модели с целью осуществления моделирования часто случается, что имеющейся информации недостаточно для определения точного значения некоторых параметров. Для таких параметров возможна лишь качественная оценка их значений, например, посредством установления границ, в которых лежат значения параметров. Вдобавок ряд свойств некоторых параметров VS-модели затрудняет измерение значений на опыте и лишает смысла концепцию точного значения этих параметров. Следствием является ситуация, когда для каждого параметра VS-модели известен диапазон его значений, причем для некоторых параметров известны их конкретные числовые значения.

Проблема параметризации для VS-модели – это проблема выбора значений параметров VS-модели, для которых известны лишь диапазоны их значений. Выбор должен осуществляться внутри этих диапазонов таким образом, чтобы полученный набор значений всех параметров VS-модели обладал необходимой внутренней структурой. Как, руководствуясь чем, осуществлять этот выбор? – сущность проблемы параметризации. Проблема параметризации существующей математической модели – это проблема выбора входных данных модели в условиях недостатка информации.

Существуют различные применяемые на практике подходы к решению проблемы параметризации произвольной математической параметрической модели [5]. Представленное ниже решение проблемы параметризации для VS-модели использует имеющийся произвол в выборе значений параметров, для которых отсутствует необходимая для определения их точного значения информация, целенаправленно. Выбираются те значения параметров, которые согласуются с целью исследовате-

ля, формализованной в виде достижения оптимума целевой функции, оптимальным, на области определения целевой функции, образом. Предложенное решение проблемы параметризации для VS-модели применимо только в случаях, когда доступна моделируемая сущность, в частности, при использовании VS-модели по ее основному назначению.

Понятие критерия отличия моделируемой ДКХ от ее модели. Введем понятие «критерий отличия моделируемой ДКХ от ее модели», представляющее ценность и вне контекста проблемы параметризации для VS-модели, чтобы изложить предлагаемое в этой статье решение последней. Критерий отличия является однозначной вещественной неотрицательной функцией двух аргументов, обозначим ее $DC(trCr, mCr)$, определенной на множестве пар вещественных векторов размерности, равной мощности множества Yrs, с неотрицательными компонентами. Множество Yrs является пересечением двух множеств – набора лет, для которых осуществлялось моделирование, и набора лет, в которые доступны значения моделируемой ДКХ.

Первый аргумент $trCr$ должен быть вектором относящихся к годам Yrs значений моделируемой ДКХ, которые расположены в векторе согласно годам, упорядоченным по возрастанию. Второй аргумент mCr должен быть вектором соответствующих значений ДКХ, смоделированной посредством VS-модели.

Значение критерия отличия характеризует удаленность модели ДКХ, полученной посредством VS-модели, от этой моделируемой ДКХ. При фиксированной моделируемой ДКХ меньшему значению критерия отличия соответствует более удачная модель этой ДКХ. Критерий отличия вводит на множестве моделей некоторой фиксированной ДКХ отношение эквивалентности и упорядочивает классы эквивалентности линейным образом.

Критерий отличия моделируемой обобщенной ДКХ от ее модели должен обладать двумя дополнительными свойствами: свойством симметрии на его области определения и свойством рефлексивности ($trCr = mCr$ влечет $DC(trCr, mCr) = 0$). Эти два свойства не налагаются на критерий отличия моделируемой индивидуальной ДКХ от ее модели, поскольку семантика значений моделируемой ДКХ (включая единицы измерения) совпадает с семантикой значений модели ДКХ, полученной посредством VS-модели, гарантированно лишь для обобщенных ДКХ.

Необходимые свойства критерия отличия не гарантируют его непрерывности. Многозначные критерии отличия не рассматриваются в этой статье.

Апробация нижеизложенного алгоритма параметризации для VS-модели выполнена со следующими двумя критериями отличия, которые предлагается использовать как критерии отличия по умолчанию. Критерий отличия DC_{ITRC} индивидуальной ДКХ от ее модели и критерий отличия DC_{GTRC} обобщенной ДКХ от ее модели определены формулами

$$DC_{\mathrm{ITRC}}(trCr, mCr) = 1 - \mathrm{crln}(trCr, mCr) + \\ +1,25\left(1 - \mathrm{sync}(trCr, mCr)\right)^2,$$

$$DC_{\mathrm{GTRC}}(trCr, mCr) = DC_{\mathrm{ITRC}}(trCr, mCr) + \\ +0,4\left(\max_{i \in Yrs}\left|trCr_i - mCr_i\right|\right)^2,$$

где $\mathrm{crln}(trCr, mCr)$ и $\mathrm{sync}(trCr, mCr)$ – коэффициенты корреляции Пирсона и синхронности между векторами $trCr$ и mCr, $trCr_i$ (mCr_i) – соответствующая году i-я компонента вектора $trCr$ (mCr).

Выбор таких критериев отличия обусловлен желанием получать расчетные ДКХ как можно более положительно коррелированными с соответствующими им моделируемыми ДКХ; не иметь низких значений коэффициента синхронности между моделируемой ДКХ и ее моделью; не иметь серьезных визуальных отличий между ломаными, представляющими моделируемую обобщенную ДКХ и ее модель. Критерии отличия DC_{ITRC} и DC_{GTRC} апробированы на обширном материале, совместимы с нижеизложенным алгоритмом параметризации для VS-модели и отражают взгляд большинства исследователей на понятие близости двух ДКХ.

Алгоритм параметризации. Введем определения и обозначения. Обозначим через $p = (p_1, \ldots, p_n)$ вектор используемых при моделировании параметров (ИпМП) VS-модели. Вектор p однозначно определяется используемым при моделировании набором значений опций VS-модели. Обозначим номера рассматриваемых n параметров VS-модели, для которых известны конкретные числовые значения, через $i_1, \ldots, i_k$; известные конкретные числовые значения этих параметров обозначим $c_{i_1}, \ldots, c_{i_k}$. Диапазон значений i-го параметра VS-модели обозначим $[a_i; b_i]$. Для удобства изложения считаем $a_{i_j} = b_{i_j} = c_{i_j}$ для $j = 1, \ldots, k$.

Назовем пространством оптимизации S подмножество $(n - k)$ мерного параллелепипеда

$$P = \left\{ p \in \mathbf{R}^n : \quad a_i \le p_i \le b_i \quad \text{для} \quad 1 \le i \le n \right\},$$

лежащего в $\mathbf{R}^n$, определенное условием: элемент P, рассматриваемый как набор значений ИпМП, принадлежит S тогда и только тогда, когда он обладает необходимой внутренней структурой (см. выше). Набор значений ИпМП, принадлежащий S, назовем допустимым. Считаем $S \ne \varnothing$. Структура S обусловлена используемыми при моделировании взаимосвязями между ИпМП. S напоминает прямоугольный кусок сыра. Типична ситуация: из 100 000 значений непрерывной n мерной случайной величины, равномерно распределенной на P, только одно принадлежит S.

Определим предикатную функцию $pFail(p)$: $P \to$ {«TRUE», «FALSE»}, принимающую логическое значение «TRUE» только если p П S. Как правило, для вычисления $pFail(p)$ необходимы выходные данные VS-модели, полученные для набора p.

Назовем точностью вдоль i-й оси, $1 \le i \le n$, величину

$$\sup\left\{ \begin{array}{l} x \in \mathbf{R} : \ \forall InpOpt_1 \forall InpOpt_2 \times \\ \times \left(\left| p_i^1 - p_i^2 \right| \le x \quad \to \quad Q(Output_1, Output_2) \right) \end{array} \right\},$$

где $InpOpt_1$ и $InpOpt_2$ – две совокупности входных данных VS-модели и значений ее опций, отличающиеся лишь значениями p_i^1 и p_i^2 i-го ИпМП; $Output_1$ и $Output_2$ – выходные данные VS-модели, соответствующие $InpOpt_1$ и $InpOpt_2$. Предикат Q истинен тогда и только тогда, когда $Output_1$ и $Output_2$ отличаются настолько мало, что этим отличием можно пренебречь и оно несущественно. Обозначим используемую при моделировании оценку точности вдоль i-й оси через h_i.

Введем на S метрику d: $S \times S \to [0; +\infty)$, положив

$$d(x, y) = \max_{1 \le i \le n} \left| \frac{x_i - y_i}{h_i} \right|.$$

Выбор метрики на S не является тривиальной задачей. На S введена именно такая метрика, поскольку пространство оптимизации имеет по разным осям, вообще говоря, разные физические единицы измерения; константы h_i, соответствующие осям с одинаковыми физическими единицами измерения, могут различаться; она является естественным аналогом метрики c_Γ на $\mathbf{R}^n$ [6].

Изложим алгоритм параметризации для VS-модели. Предлагаемый алгоритм выбирает набор значений ИпМП из пространства оптимизации S, доставляющий глобальный минимум на S целевой функции $F(p)$. Алгоритм требует, чтобы $F(p)$ являлась однозначной вещественной неотрицательной функцией, определенной всюду на S. Алгоритм не требует каких-либо дополнительных свойств $F(p)$. Целевая функция определена равенством

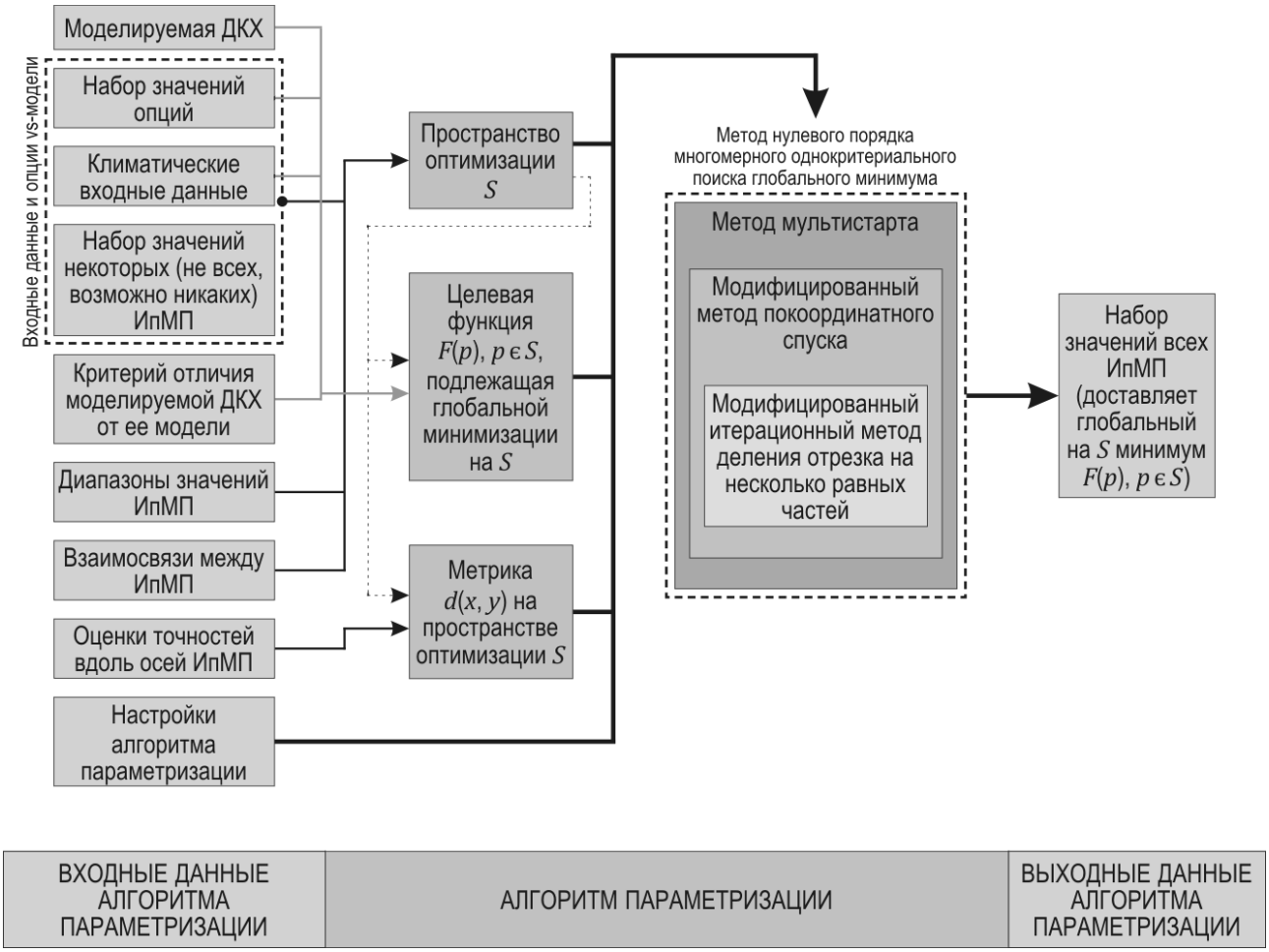
$$F(p) = DC(trCr, mCr(p)), p \text{ O } S,$$

где $mCr(p)$ представляет собой вектор относящихся к годам Yrs значений модели ДКХ (см. выше), полученной посредством VS-модели с набором p значений ИпМП. Предлагаемый алгоритм параметризации для VS-модели применим с любым критерием отличия. Он учитывает лишь те свойства минимизируемого им критерия отличия, которые необходимо имеет любой критерий отличия.

Целевая функция $F(p)$ и ее область определения S индивидуальны для каждой ситуации, в которой применяется излагаемый алгоритм параметризации. Исследования задачи поиска глобального на S минимума $F(p)$ показали, что $F(p)$, как правило, имеет более одного локального минимума. Входные и выходные данные алгоритма, его структура представлены на рисунке.

Метод нулевого порядка многомерного однокритериального поиска глобального минимума, используемый алгоритмом параметризации, является методом мультистарта [7] метода покоординатного спуска [7]. В статье не затрагивается вопрос существования более эффективного метода для решения семейства задач поиска глобального на S минимума $F(p)$. Используемый метод покоординатного спуска отличается от классического следующим: порядок обхода координатных осей S задается пользователем; на S используется метрика, отличная от евклидовой; используемый метод одномерной оптимизации осуществляет поиск глобального оптимума; отсутствие требования непрерывности $F(p)$ и сложная структура S требуют модификации классического метода покоординатного спуска.

Настройки алгоритма параметризации представляют собой совокупность шести констант: m, $level$, $maxIter$, ε, q, $maxStart$ и двух векторов τ и $wght$. Алгоритм использует одни и те же значения его настроек на протяжении всех осуществляемых им действий. Следующие настройки



Структурная схема алгоритма параметризации для VS-модели

алгоритма параметризации предлагается использовать как его настройки по умолчанию: $m = 3$, $level < \inf_{p \in S} F(p)$, $maxIter = 500$, $\varepsilon \le (n-k)^{-1}$, $q = 1$, $maxStart = 1\,000$, $\tau_i \le h_i \cdot \min(1, \varepsilon)$ $(1 \le i \le n)$, $wght_j = 0$ для $j = i_1, \ldots, i_k$ (значения по умолчанию остальных $n - k$ положительных компонент вектора *wght* в статье не приводятся). Нечетность m и истинность неравенства $\tau_i \le h_i \cdot \varepsilon$, $1 \le i \le n$, необходимы для корректного функционирования алгоритма.

Метод мультистарта запускает с одними и теми же настройками метод покоординатного спуска из *maxStart* стартовых точек в S. Наименьший из *maxStart* найденных локальных минимумов является оценкой глобального минимума и выдается как результат работы метода мультистарта. Стартовые точки генерируются случайным образом и являются различными значениями непрерывной n мерной случайной величины, равномерно распределенной на P.

Веса *wght* задают порядок обхода координатных осей S методом покоординатного спуска. Каждая итерация последнего заключается в выполнении одномерных минимизаций вдоль координатных осей S с положительными весами; в конце итерации проверяется условие останова. Одномерные минимизации вдоль осей, имеющих максимальный вес, выполняются в первую очередь. Оси с одинаковыми положительными весами обходятся в порядке, индуцированном их номерами, – чем меньше номер, тем раньше осуществляется минимизация.

Минимизация вдоль i-й оси, $1 \le i \le n$, означает поиск глобального минимума функции $f(x) = F(\ldots, p_{i-1}, x, p_{i+1}, \ldots)$ вещественной переменной x на множестве, лежащем внутри отрезка $[a_i; b_i]$ и задаваемом предикатной функцией $xFail(x) = pFail(\ldots, p_{i-1}, x, p_{i+1}, \ldots)$. После его осуществления значение x^*, доставляющее глобальный минимум $f(x)$, записывается в i-ю координату текущей точки p в S. При входе в первую итерацию текущая точка p совпадает со стартовой, выбранной методом мультистарта. Координаты p с нулевыми весами не изменяются на протяжении всех осуществляемых методом покоординатного спуска действий.

Условие останова выполняется в случае истинности хотя бы одного из условий: количество итераций достигло порога *maxIter*; $F(p) < level$, где p является текущей точкой в конце итерации (после выполнения всех одномерных минимизаций данной итерации); $d(p^N, p^{N-i}) < \varepsilon$ для всех $i = 1, \ldots, q$ (N – номер текущей итерации, p^j – текущая точка в S в конце j-й итерации, q и ε – положительные константы); $d(p^N, p^{N-1}) = 0$.

Одномерные минимизации вдоль координатных осей S выполняет метод, являющийся модификацией итерационного метода деления отрезка на несколько равных частей [7]. На каждой итерации метод разбивает текущий отрезок на m равных частей и либо делает текущим отрезком одну из них, либо завершает работу, сообщая пользователю о необходимости изменить значение m. Итерации прекращаются, когда значение минимизируемой функции на текущем отрезке становится меньше уровня *level* или когда длина текущего отрезка становится меньше величины д, заданной до запуска метода.

Все одномерные минимизации вдоль i-й оси, осуществляемые в ходе работы метода покоординатного спуска, выполняются с $\delta = \tau_i$ $(1 \le i \le n)$.

Реализация и апробация алгоритма параметризации. Алгоритм параметризации для VS-модели реализован на языке программирования C++ с привлечением средств стандартной библиотеки C++. Его текстовый код удовлетворяет стандарту C++03 (ISO/IEC 14882:2003). Исполняемый код реализации для конкретной операционной системы может быть получен без изменений текстового кода реализации и оформлен в виде dll-библиотеки (если целевой платформой является ОС семейства Windows) или mex-файла (если целевой платформой является ОС семейства Unix).

Основными факторами, влияющими на продолжительность параметризации некоторой ДКХ посредством рассматриваемой реализации алгоритма параметризации, являются следующие: используемый при моделировании набор значений опций VS-модели; мощность набора лет, на которых выполняется моделирование; используемые при моделировании взаимосвязи между ИпМП; значение величины $n - k$ и длины диапазонов значений ИпМП, для которых неизвестны конкретные числовые значения; используемый при параметризации критерий отличия; используемые настройки алгоритма параметризации; аппаратное и программное обеспечение устройства, выполняющего код реализации алгоритма параметризации. Варьируя любым из этих факторов, можно добиться многократного изменения продолжительности параметризации.

На ноутбуке Asus F3JP с двухъядерным процессором T5300 (максимальная тактовая частота каждого ядра равна 1,73 GHz) параметризация ДКХ посредством рассматриваемой реализации алгоритма параметризации обычно длится от нескольких часов до нескольких суток.

Предложенный алгоритм параметризации для VS-модели был использован на более чем 700 различных парах $(S, F(p))$. Следствием осуществления этих параметризаций явилось то, что ряд утверждений о VS-модели, как новых, так и ранее сформулированных, подтверждены впервые вычислительным экспериментом; впервые сформулирована и подтверждена вычислительным экспериментом гипотеза о взаимосвязи моделей индивидуальных и обобщенной ДКХ, полученных посредством VS-модели; VS-модель впервые в полной мере использована как тестер качества индивидуальных и обобщенных ДКХ, которые планируется использовать в роли посредников, несущих климатическую информацию; установлены несколько свойств рассматриваемого алгоритма параметризации. Успешная апробация алгоритма параметризации и его реализация является следствием этих результатов.

Результаты данной работы востребованы преимущественно в дендроклиматологии и дендрохронологии, математическом моделировании процессов, протекающих в древесных растениях. Созданный алгоритм параметризации и его реализация существенно расширяют круг ситуаций, в которых использование VS-модели уже осуществимо на практике; позволяют тестировать и анализировать VS-модель на качественно новом уровне; позволяют решать на практике обратные задачи восстановления некоторых условий произрастания древесного растения по имеющейся его ДКХ.

Библиографические ссылки

1. Dendroclimatology: Progress and Prospects (Developments in Paleoecological Research) / M. K. Hughes, T. W. Swetnam, H. F. Diaz (editors). Berlin : Springer-Verlag, 2009.

2. Vaganov E. A., Hughes M. K., Shashkin A. V. Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments. Berlin : Springer-Verlag, 2006.

3. Ваганов Е. А., Шашкин А. В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск : Наука, 2000.

4. Cook E. R., Kairiukstis L. Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht : Kluwer Acad. Publ., 1990.

5. Papalambros, P. Y., Wilde D. J. Principles of Optimal Design: Modeling and Computation. Cambridge : Cambridge University Press, 2000.

6. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М. : Физматлит, 2004.

7. Handbook of global optimization. Vol. 1 / R. Horst, P. M. Pardalos (editors). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1995.

A. B. Ivanovsky, V. V. Shishov

A PARAMETERIZATION ALGORITHM FOR THE VAGANOV – SHASHKIN MODEL OF SEASONAL GROWTH AND TREE-RING FORMATION

For the simulation of Vaganov–Shashkin model of seasonal growth and tree ring formation a solution algorithm of the parameterization problem of the model is proposed, in the cases, when entity for being modeled is available. The algorithm is realized as dll-library (or as mex-file), tested on extensive data. A concept of criterion of difference of actual tree-ring chronology from its model is introduced. Two new difference criteria are suggested.

Keywords: the Vaganov–Shashkin model, tree-ring chronology, parameterization algorithm, difference criterion, optimal model parameters.

© Ивановский А. Б., Шишов В. В., 2010

УДК 621.25:532.528.001.2(02)

Е. М. Краева, М. В. Краев, А. В. Пекарский

ПОВЫШЕНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ НАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПОДАЧЕ КРИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА*

Рассмотрены особенности насосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) при подаче жидкого водорода. На основе визуальных исследований и измерений параметров потока в проточной части полуоткрытого рабочего колеса насоса малой быстроходности изложены преимущества для подачи жидкого водорода.

Ключевые слова: кавитация, насосный агрегат, рабочее колесо, полуоткрытое колесо, подача, водород.

Накопленный в отечественном ракетном двигателестроении практический опыт разработки насосных агрегатов ЖРД обусловил принятие конструктивных решений преимущественно с закрытыми рабочими колесами (РК). При подаче рабочих тел перед высоконапорной центробежной ступенью устанавливается низконапорная бустерная ступень, обеспечивающая заданные кавитационные качества насосного агрегата [1; 2]. Развитие ракетной техники характеризуется необходимостью использования жидкого водорода в качестве горючего для жидкостных ракетных двигателей.

Водород обладает рядом особенностей теплофизических свойств, таких как относительно низкая плотность и высокая сжимаемость в жидком состоянии, высокая теплоемкость и существенная зависимость ее от температуры и плотности, низкая температура сжижения, узкий температурный диапазон существования в жидком состоянии и т. д. Эти свойства водорода, существенно отличные от соответствующих свойств компонентов топлива, в том числе и криогенных, применяемых в ракетной технике, обусловили необходимость решения ряда новых инженерных и научных проблем, связанных с созданием производственной базы, средств хранения и транспортировки, средств испытаний двигателей и отдельных его агрегатов, а также двигателей и ракетных ступеней. Так, например, напорные характеристики водородных насосов имеют возрастающие ветви при любом виде напорной характеристики, получаемой на несжимаемой жидкости. Ограничен диапазон работоспособности водородных насосных агрегатов по расходу малых величин [3].

В составе насосных агрегатов ЖРД малой тяги и энергоустановок летательных аппаратов используются центробежные высокооборотные насосы при угловой скорости ротора до 10 000 рад/с при широком диапазоне изменения режимных параметров по расходу $\dot{V}$ и напору H. Малое значение расходов в таких насосах наряду с высокой угловой скоростью ротора ω приводит к снижению параметра $\dot{V}/\omega$, т. е. обычно меньше значения $\left(\dot{V}/\omega\right) = 1\cdot 10^{-6}\,\text{м}^3$, предельно допустимого для насоса с закрытым рабочим колесом и значением коэффициента быстроходности $n_S < 50$ [2].

В работе [4] показано, что кавитационные качества низконапорных ступеней лопастных насосов при перекачивании криогенных жидкостей значительно лучше, чем при работе на воде, что учитывается с помощью термодинамической поправки $\Delta h_{\text{Т}}$ к критическому кавитационному запасу насоса при работе на модельной жидкости $\Delta h_{\text{кр.м}}$:

$$\Delta h_{\text{кр}} = \frac{p_{\text{вх.кр}} - p_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} + \frac{c_{\text{вх}}^2}{2} = \Delta h_{\text{кр.м}} - \Delta h_{\text{т}}, \qquad (1)$$

где $\Delta h_{\text{кр}}$ – критический кавитационный запас насоса при работе на натурной жидкости; $p_{\text{вх}}$, $c_{\text{вх}}$ – давление и скорость потока на входе в насос, соответственно; $p_{\text{п}}$ – упругость насыщенных паров жидкости.

В случае работы бустерных насосов ЖРД на жидком водороде значение $\Delta h_{\text{т}}$ может быть больше величины $\Delta h_{\text{кр.м}}$, что позволяет удовлетворительно перекачивать насосом жидкий водород в кипящем состоянии [1]. Однако эта закономерность чаще всего не подтверждается применительно к основным высоконапорным насосам ЖРД, особенно при их работе на жидком водороде, когда велик градиент изменения упругости насыщенных паров в зависимости от температуры. Если такие насосы имеют низкий коэффициент быстроходности n_s, то их кавитационные качества на водороде могут быть значительно хуже, чем на воде [5].

Таким образом, для насосов с закрытым рабочим колесом кавитационные качества при работе на водороде существенно ниже, чем при работе на воде, причем они снижаются с ростом числа оборотов вала насоса и повышением температуры водорода. Такое поведение параметров связано с влиянием сброса нагретых во вспомогательном тракте насоса утечек рабочего тела во входной участок насоса. Утечки, поступающие через переднее уплотнение насоса или другие вспомогательные каналы не успевают полностью перемешаться с основным потоком и образуют на входе в рабочее колесо закрытого типа локальную нагретую область, в которой упругость насыщенных паров $p_{\text{п.ут}}$ утечек существенно больше упругости насыщенных паров в основном потоке $p_{\text{п}}$. И тогда кавитационный срыв режима работы насоса определяется расходом утечек, поступающих в основной поток в этой области. В работе [5] отмечается, что только в ряде зарубежных кислородо-водородных ЖРД (двигатель RL-10 (США) и HM-7 (Франция)) проблем по кавитационным качествам нет, так как в насосе применяется полуоткрытое РК.

* Работа выполнена при поддержке грантов: АВЦП РПН ВШ № 2.1.2/802, Президента РФ № МК–1115.2010.8.

С целью уточнения основных особенностей гидродинамики в каналах полуоткрытого РК и оценки подогрева рабочей жидкости проведен ряд экспериментов, в том числе и по визуализации течения в проточной части таких насосов.

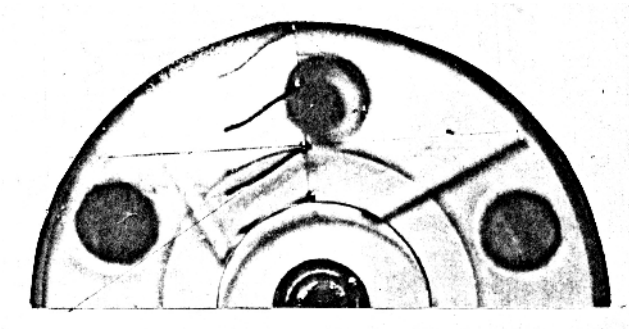


Рис. 1. Флюгерки в зазоре между торцами лопаток полуоткрытого РК и корпусом насоса при $\omega = 1047$ рад/с

Фотографирование наклеенных флюгерков на стенке между корпусом насоса и открытыми лопатками РК (рис. 1) при испытании в широком диапазоне изменения режимных параметров насоса ($\dot{V} = 0...1,5\dot{V}_{ном}$) и изменении осевого зазора от 0,5 до 3 мм показало, что для различных радиусов соблюдается постоянство отношения радиальной составляющей скорости V_r от окружной: $V_r/U = \varphi_r$. Это дает основание выразить скорость радиального течения в осевом зазоре от периферии РК к центру, с учетом коэффициента скольжения потока $\varphi_л$ в окружном направлении относительно РК следующим образом:

$$V = U\varphi_r = UK_r\varphi_л, \qquad (2)$$

где K_r – экспериментальная константа, $K_r = 0,45$.

В дополнение к опытам по визуализации течения в межлопаточных каналах (см. рис. 1) для уточнения структуры потока в РК полуоткрытого типа проводились опыты с измерением полей давления по радиусу модельного РК. Трубки отбора давлений имели толщину стенки 0,15 мм с внутренним диаметром 0,75 мм. Ввиду того, что осевая составляющая скорости в осевом зазоре очень мала по сравнению с другими ее компонентами, то тип насадки выбирался с учетом измерения не полной скорости, а только суммы ее окружной и радиальной составляющих, что позволило остановится на более простых ее конструктивных формах.

Измерение параметров потока в осевом зазоре с лопаточной стороны РК проводилось дифманометром типа ДТ-50. При испытании одна полость дифманометра соединялась с трубкой отбора статического давления, вторая – с трубкой полного давления, расположенной на том же радиусе. Трубку полного давления можно было устанавливать в разных направлениях и перемещать в осевом зазоре. При измерении она устанавливалась в направлении максимального значения перепада давления и по известному углу наклона определялась величина радиальной составляющей скорости потока. Обработка полученных данных показала, что для различных радиусов РК соблюдается постоянство отношения радиальной составляющей скорости от окружной.

Опытные данные изменения коэффициента φ_r радиальной составляющей скорости от расхода через полуоткрытое РК представлены на рис. 2. Там же представлены аналогичные опыты для импеллеров [6] ($V = 0$).

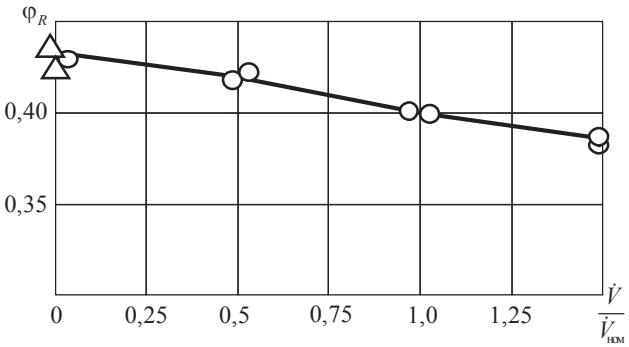


Рис. 2. Зависимость коэффициента радиальной составляющей скорости в полуоткрытом РК при изменении расхода

На основании проведенных исследований по визуализации потока и измерению его параметров в зазоре между вращающимся РК с открытыми торцами лопаток и гладким корпусом насоса можно представить модель струйно-вихревого обтекания каналов РК (рис. 3). Поток жидкости в межлопаточном канале такого РК подвергается непосредственному силовому воздействию лопаток. Жидкость в зазоре a_1 закручивается за счет сил трения и проскальзывает относительно торцов лопаток РК. Таким образом, на одном и том же радиусе частицы жидкости в канале и осевом зазоре a_1 движутся с различной окружной скоростью, что приводит к относительному их перемещению в радиальном и осевом направлениях.

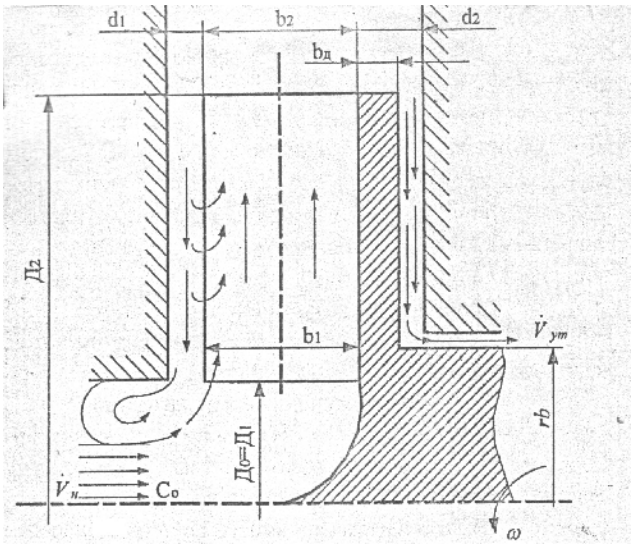


Рис. 3. Схема струйно-вихревого течения в каналах полуоткрытого РК

Таким образом, как на входном участке РК с открытыми лопатками, так и по его радиусу не вся проточная часть каналов колеса заполнена потоком, движущимся от входа в РК до выхода. Частично его проточная часть заполнена обратным течением. Закрученные в сторону вращения РК обратные точки перетекают в соседний канал на меньший радиус и увлекаются обратно в проточ-

ную часть. При этом образуется течение, жидкость в котором постоянно обновляется за счет расходного течения через насос.

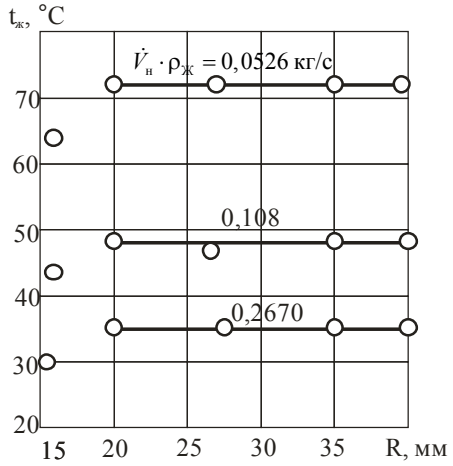


Рис. 4. Распределение температуры жидкости по радиусу с лопаточной стороны рабочего колеса для разных расходов рабочих жидкостей

Основная доля подводимой к рабочему колесу ротора энергии затрачивается на привод лопаток, и, следовательно, теплота трения выделяется главным образом в осевом зазоре, с лопаточной стороны. Без эксперимента трудно установить, будет ли достаточно эффективно охлаждаться расходное течение жидкостью, циркулирующей в осевом зазоре рабочего колеса. Для ответа на этот вопрос были проведены измерения температуры жидкости в осевом зазоре a_1 вдоль радиуса для открытых рабочих колес. Эти измерения показали, что в зазоре температура жидкости постоянна по радиусу и равна температуре на выходе из области лопаток в основной поток жидкости на периферии рабочего колеса ротора и незначительно (на 5–7 %) превышает значение температуры расходного течения до входа в РК (рис. 4). Таким образом, в полуоткрытом РК объемные утечки, влияющие на подогрев рабочей жидкости, не снижают кавитационные качества насосного агрегата, а перетекание жидкости с напорной стороны лопатки на тыльную стабилизирует температурный режим насоса, исключая кавитационные явления при подаче водорода.

Струйно-вихревое обтекание лопаток полуоткрытого РК при перетоке на меньший радиус обеспечивает полное перемешивание основного расходного течения и вихревого потока в осевом зазоре, что исключает подачу нагретых утечек на вход центробежного колеса насоса.

Приведенные данные измерения градиента температуры по радиусу РК обеспечивают кавитационную устойчивость центробежного насоса с полуоткрытым РК при подаче криогенных компонентов топлив.

При использовании полуоткрытого РК в составе первой ступени водородного насосного агрегата ЖРД обеспечивается простота конструкции, технологичность в изготовлении, а при заданном обеспечении осевого зазора достаточные энергетические характеристики насосного агрегата.

Библиографические ссылки

1. Дмитриенко Л. И. Развитие конструкции турбонасосных агрегатов ЖРД, разработанных в КБХА // Научн.-техн. юбил. Сб. КБ Химавтоматики. Воронеж, 2001. С. 308–314.

2. Позняк М. И., Поляков В. И., Шапиро А. С. Исследование и разработка турбонасосных агрегатов в КБ Химического машиностроения им. А. М. Исаева. Ч. 1 // Космонавтика и ракетостроение, 2002. № 3 (28). С. 70–78.

3. Шапиро А. С. Структура реального течения в центробежных и осевых насосах. М. : МГИУ, 2004.

4. Петров В. И., Чебаевский В. Ф. Кавитация в высокоборотных лопастных насосах. М. : Машиностроение, 1982.

5. Особенности кавитационных качеств насосов турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей при перекачивании криогенных компонентов топлив / И. В. Баньковская, Р. И. Константинов, В. И. Петров [и др.] // Космонавтика и ракетостроение. Вып. 4 (57). 2009. С. 153–158.

6. Краев М. В., Овсянников Б. В., Шапиро А. С. Гидродинамические уплотнения высокооборотных валов. М. : Машиностроение, 1976.

E. M. Kraeva, M. V. Kraev, A. V. Pecarski

INCREASE OF CAVITATING QUALITIES OF THE PUMP UNIT OF THE LIQUID ROCKET ENGINE IN MODE OF SUPPLY OF CRYOGENIC COMPONENTS OF ENGINE FUEL

The article considers characteristic property of pump units of liquid rocket engines in mode of submission of liquid hydrogen. On the basis of visual researches and measurements of parameters of a stream in a flowing part of semiexposed driving wheel of the pump of small rapidity, and their constructive advantages for submission of liquid hydrogen are stated.

Keywords: cavitating, pump package, driving wheel, semiexposed driving wheel, engine fuel supply.

© Краева Е. М., Краев М. В., Пекарский А. В., 2010

УДК 629.78.018

В. В. Есюнин, А. В. Барков

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОАО «ИСС»

Описываются цели и задачи наземной отработки бортовых комплексов управления космических аппаратов связи и навигации. Описаны подходы к построению испытательного стенда, принципы автоматизации испытаний. Дается оценка преимуществ и недостатков предложенных решений, а также перспективы развития испытательного стенда для перспективных космических аппаратов (КА).

Ключевые слова: бортовой комплекс управления, наземная отработка, автоматизация испытаний.

Проведение испытаний на стенде БКУ является одним из важнейших этапов создания космических аппаратов ОАО «ИСС».

Объектом контроля (испытаний) на стенде БКУ является бортовой комплекс управления.

Бортовой комплекс управления (БКУ) является ядром системы управления КА и предназначен для решения следующих задач:

– создание управляющей среды для реализации задач управления бортовых систем КА;

– организация автономного контура контроля и управления КА;

– информационно-логическое взаимодействие с внешним контуром управления и контроля КА.

БКУ включает в себя следующее:

– бортовой цифровой вычислительный комплекс (БЦВК);

– бортовая аппаратура телесигнализации (БАТС);

– командно-измерительная система (КИС);

– блок управления БКУ (БУ БКУ);

– блок интерфейсный БКУ (БИ БКУ);

– бортовая кабельная сеть (БКС);

– бортовое программное обеспечение (БПО).

БКУ состоит из конструктивно независимого оборудования, объединенного только кабельной сетью, поэтому программное обеспечение БКУ является организующим элементом БКУ.

ПО БКУ предназначено для решения задач контроля и управления аппаратурой БКУ, обмена информацией с бортовой аппаратурой по мультиплексному каналу обмена (МКО).

БУ БКУ необходим для выполнения функций управления, координации работы систем КА и использования в составе бортового комплекса управления.

КИС осуществляет прием телекоманд с наземных станций, передачу телеметрической информации (ТМИ) на наземные станции.

БЦВК применяется для реализации алгоритмов управления и контроля спутником.

БИ БКУ предназначен для управления исполнительными элементами двухконтурной жидкостной системы терморегулирования (СТР) и обогревателями СТР, системы коррекции (СК), аккумуляторной батареи (АБ), приборов ретранслятора (РТР), панелей полезной нагрузки (ПН), механизмов раскрытия и наведения антенн, обеспечивающих требуемый тепловой режим элементов приборов спутника на участке выведения (УВ), в процессе штатной эксплуатации и в режиме обеспечения живучести.

БАТС предназначена для сбора, обработки, хранения информации, выдачи ее в строго определенной структуре для передачи на наземный контур управления (НКУ).

Структурная схема БКУ приведена на рис. 1.

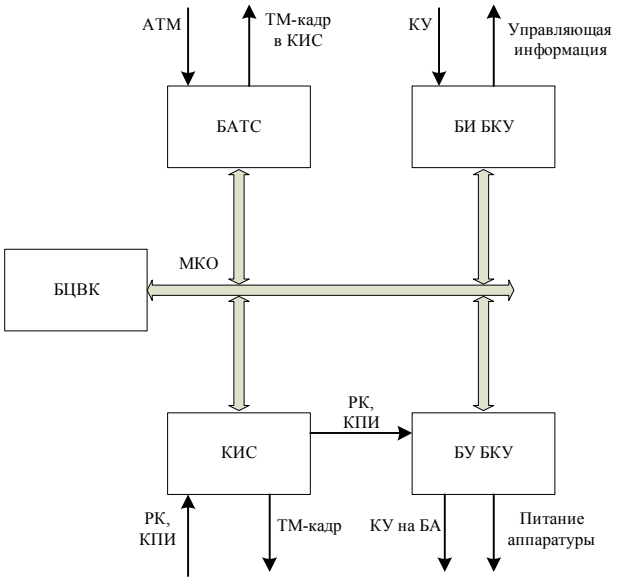


Рис. 1. Структурная схема БКУ

БКУ имеет следующие внешние интерфейсы:

– приема командной информации (РК) от НКУ;

– приема командно-программной информации (КПИ) от НКУ;

– передачи информации на НКУ;

– обмена по каналу МКО.

В ходе проведения испытаний бортового комплекса управления решаются следующие задачи:

– электрическая отработка аппаратуры и БКУ в целом с определением соответствия реальных характеристик обменных сигналов в комплексной схеме БКУ требованиями технических заданий (ТЗ);

– отладка бортового программного обеспечения;

– отработка логики функционирования и взаимодействия подсистем, входящих в состав БКУ;

– отработка комплексного функционирования БКУ.

Как результат испытаний подтверждается правильность технических решений, принятых при проектирова-

нии БКУ и выдается заключение о допуске БКУ к дальнейшим испытаниям.

Отработка БКУ на стенде обычно выявляет большое количество замечаний, устранение которых требует доработки аппаратуры, кабелей или программного обеспечения (ПО), что говорит об эффективности отработки. При этом выявление причин некоторых замечаний требует длительной работы и создания дополнительных программных средств (ловушек и программ, подтверждающих замечания). Как правило, дополнительных замечаний по выявленным и устраненным проблемам на последующих этапах не возникает. Исключение могут составлять замечания, связанные с отсутствием смежных приборов, с которыми стыкуется БКУ. Поэтому следует отметить, что к этапу испытаний на стенде БКУ следует приступать после завершения автономных испытаний приборов БКУ (после проведения комплексно доводочных испытаний приборов и комплексных испытаний БПО на наземном отладочном комплексе (НОК). При нарушении этого принципа (вследствие неготовности или же директивных сроков) стенд отладки комплекса БКУ превращается в рабочее место для проверки отдельного прибора.

В связи с моральным и техническим устареванием испытательного оборудования, ограниченными возможностями развития ПО на данных средствах, появлением новых задач, а также с развитием испытательной техники возникла необходимость разработки стенда БКУ.

При определении структуры стенда БКУ для перспективных КА была выбрана структура стенда на основе модульного построения системы на основе интерфейса VXI. Данный выбор являлся не случайным, так как эта структура построения является наиболее интенсивно развивающимся направлением в структуре наземных испытательных комплексов – использование модульного построения системы на основе интерфейса VXI.

Важной задачей при создании испытательного стенда является унификация испытательных средств, учитывая, что стенд БКУ – первое звено цепи испытаний КА.

В связи с этим необходимо, чтобы процедуру испытаний (циклограмму) можно было использовать на различных этапах испытаний КА без доработки.

Не менее важным критерием является критерий «стоимость/цена» – ограничение каналов управляющих воздействий по сравнению с другими рабочими местами, т. е. оптимизация под испытания БКУ. Испытательное оборудование VXI позволяет проводить испытания с высокой степенью автоматизации. Кроме того, учитывался широкий опыт специалистов ОАО «ИСС» при разработке ПО, обеспечивающего работу контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) в соответствии с поставленными задачами.

Структурная схема стенда БКУ для перспективных КА представлена на рис. 2.

На функциональной схеме (см. рис. 3) определены приведенные далее элементы.

Канал технологического управления и контроля (КТУК) обеспечивает реализацию программы испытаний на физическом уровне в виде обмена с БКУ конкретными электрическими сигналами.

Канал прямого управления (КПУ) осуществляет выдачу на БКУ команд прямого управления и регистрацию их выдачи.

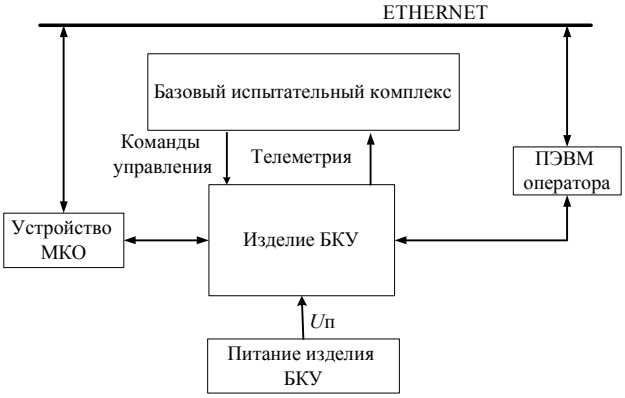


Рис. 2. Структурная схема стенда БКУ

Функциональная схема автономного испытательного комплекса (АИК) БКУ определяет основные компоненты стенда и представлена на рис. 3.

Рис. 3. Функциональная схема АИК БКУ

Канал приема телеметрической информации от бортовой системы телеконтроля обеспечивает прием и первичную обработку импульсного/потенциального бидвоичного кода структуры БИТС-2Т непосредственно с выходных разъемов бортовой системы телеметрического контроля (СТК).

Канал МКО обеспечивает обмен информацией между АИК БКУ и бортового компьютера в интересах реализации программы испытаний.

Канал интерфейсного обмена Ethernet осуществляет обмен информацией с абонентами сети ОАО «ИСС».

Средства самопроверки АИК БКУ решают задачу проверки работоспособности АИК.

Средства адаптации АИК БКУ решают задачу электрической стыковки БКУ с аппаратурой АИК БКУ.

Система отображения информации воспроизводит задачу оперативного мониторинга испытаний в реальном масштабе времени с использованием тех же инструментов обработки и отображения информации, которые применяет ведущий оператор на КАПРИ.

КАПРИ является автоматизированным рабочим местом и обеспечивает все функции автоматизации проведения и мониторинга испытаний в реальном времени.

В ходе испытаний выдаются управляющие воздействия системе и контролируются параметры функционирования. Проведение испытаний может проходить автоматизировано и в ручном режиме.

Высокая степень автоматизации испытаний достигается главным образом за счет автоматизированного исполнения циклограмм испытаний (алгоритмов проведения проверок системы) и за счет системы автоматического контроля параметров, характеризующих состояние испытываемого БКУ.

Циклограммы испытаний создаются инженерами-конструкторами на специальном прикладном языке испытаний ДИПОЛЬ-6. Возможности языка следующие:

– выдача команд в определенной временной последовательности;

– запуск циклограмм по определенным событиям;

– ветвление циклограмм;

– вызов вложенных циклограмм;

– циклическое выполнение участков циклограмм;

– организация параллельной работы циклограмм;

– постановка на автоматический контроль любого количества параметров по заданным алгоритмам контроля.

Система автоматического контроля параметров (*«Дежурный контроль»*) в режиме реального времени выполняет оценку состояния заданных параметров. Параметры на *«Дежурном контроле»* описываются как набор областей их значений (вектор допустимых состояний). Вхождение или выход из данных областей текущего значения параметра, в зависимости от алгоритма контроля предусматривает определенную реакцию. Гибкость системы заключается в широком наборе предопределенных алгоритмов контроля и реакций. Алгоритмы контроля могут оценивать значение параметра на заданном интервале или изменять допустимую область значений после первого «вхождения» параметра в указанную область (etc.). Реакцией может быть запуск аварийной циклограммы для выключения изделия, остановка испытаний, выдача сообщения оператору и т. д.

Ключевой системой является система архивирования и протоколирования. Для полноценного анализа испытаний ведется протокол испытаний. Протоколируется выполнение циклограмм, оценки *«Дежурного контроля»*, выполнение реакций и действия оператора. Архивируются все параметры формируемые объектом контроля. Для анализа предусмотрены просмотр архива изменений отдельного параметра, просмотр формуляров (группы параметров, связанных по какому-либо критерию), а также просмотр графиков изменения параметров.

Структурно-программные средства обеспечения испытаний состоят из нескольких больших программных комплексов (рис. 4). Комплекс подготовки данных испытаний (КПДИ) обеспечивает настройку конкретного рабочего места испытаний на заданный объект контроля. Комплекс включает в себя редакторы базы команд и параметров, вторичных параметров, мнемосхем мониторинга и управления, циклограмм испытаний, а также программы, контролирующие все подготовленные данные на непротиворечивость и полноту.

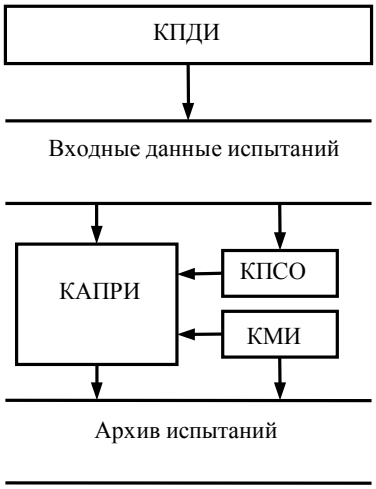


Рис. 4. Структура ПО автоматизации испытаний

Комплекс программ сопряжения (КПСО) обеспечивает преобразование разнообразных интерфейсов связи с объектом контроля (ОК) в унифицированный интерфейс связи с комплексом автоматизированного проведения испытаний (КАПРИ). КАПРИ обеспечивает все функции автоматизации проведения и мониторинга испытаний в реальном времени. Комплекс мониторинга испытаний (КМИ) осуществляет удаленный мониторинг испытаний, как в реальном времени, так и послесеансный.

Программное обеспечение является масштабируемым и унифицировано с ПО аналогичных рабочих мест (РМ), предназначенных для испытаний различных систем и бортовой аппаратуры (БА) КА.

Схема прохождения информации испытаний стенда БКУ (СБКУ) объединяет этапы подготовки, проведения и мониторинга испытаний (рис. 5). На своих рабочих местах конструкторы с помощью различных редакторов, документаторов подготавливают входные данные для испытаний. Подготовленные и проверенные входные данные (ВД) затем передаются на требуемое рабочее место. Планируется, что во время проведения испытаний конструктор имеет возможность анализа поведения системы в реальном времени. Одновременно формируется архив протокола испытаний, обработанной информации (архив параметров), необработанной информации (принятых пакетов), принятых отчетов, сформированных массивов. После проведения сеанса испытаний имеется возможность работы с архивом результатов испытаний. Данный комплексный подход обеспечивает единую идеологию построения и унификацию средств автоматизации, что повышает надежность и эффективность их применения.

Созданный на основе упомянутых технических решениях стенд БКУ прошел отработку на предмет соответ-

ствия каналов управления требованиям ТЗ, а также испытания БКУ КА «Муссон». В настоящее время на стенде БКУ проводятся испытания БКУ для новых спутников системы «ГЛОНАСС».

Следует отметить, что эксплуатация нового стенда БКУ показала некоторые недостатки в заложенных решениях. Одним из самых главных является то, что при использовании VXIтехнологий для построения испытательных комплексов в случае возникновении необходимости разработки новых VXI-приборов требуются большие финансовые затраты и большие сроки реализации доработки стенда.

Однако в целом, принятые технические решения по структуре испытательного комплекса, архитектуре аппаратных средств, по способу автоматизации испытаний и обработке результатов испытаний можно считать вполне успешными.

Кроме того, развитие данного комплекса позволит решать на стенде БКУ ряд перспективных задач, вызванных усложнением интерфейсов в перспективных аппаратах ОАО «ИСС», требованиями по сокращению сроков проведения испытаний, а также появлением новых задач для данного этапа отработки БКУ.

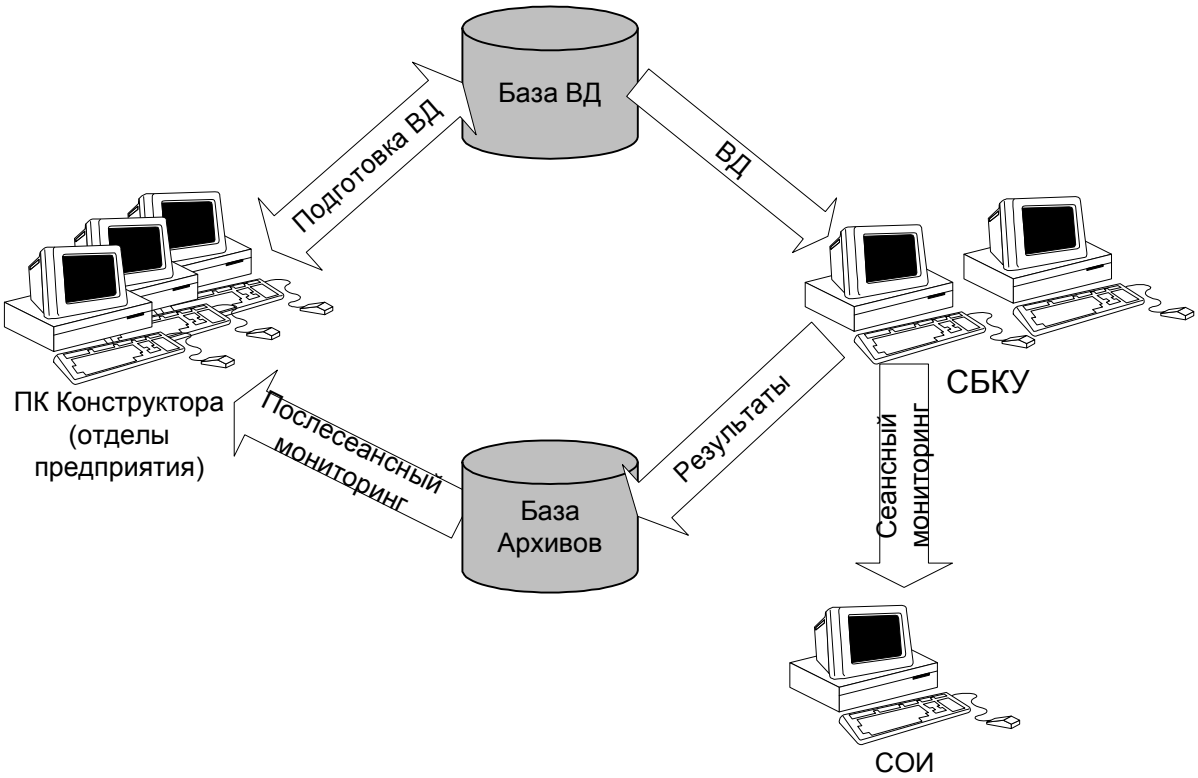


Рис. 5. Схема прохождения информации испытаний

V. V. Esunin, A. V. Barkov

UNDERLYING PRINCIPLES FOR CONSTRUCTION OF TESTBED FOR JSC «ISS» PERSPECTIVE SATELLITES

Goals and objectives of ground test of on-board control subsystems of space units of communication and navigation are described. Approaches for construction of tester unit and principles of automation test are described. Estimation of merits and demerits of the suggested decisions and prospect of the tester unit development for perspective satellites are given.

Keywords: on-board control subsystem, ground test, automation test.

© Есюнин В. В., Барков А. В., 2010

УДК 629.78.08.018

В. Е. Патраев

НАЗЕМНАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЯМАЛ-300К» НА БАЗЕ КВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Рассмотрены вопросы планирования объемов наземной экспериментальной отработки перспективного космического аппарата «Ямал-300К».

Ключевые слова: космический аппарат, надежность, наземная экспериментальная отработка.

В настоящее время ОАО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева» по заказу ОАО «Газпром космические системы» разрабатывает космический комплекс (КК) «Ямал-300» с космическим аппаратом (КА) связи и телевещания «Ямал-300К». Процесс создания КА «Ямал-300К» имеет ряд особенностей, основные из которых, представлены ниже:

– использование в составе КА «Ямал-300К» платформы «Экспресс-1000НТА», квалифицируемой в рамках предыдущих проектов «Telcom-3» (под индексом «Экспресс-1000НТ») и «Amos-5» (под индексом «Экспресс-1000Н»);

– необходимость учета при проектировании и отработке КА изготовленной покупной полезной нагрузки (ПН) в виде двух бортовых ретрансляционных комплексов, ранее предназначавшихся для проектов «Ямал-301/302» (БРК1 с приемо-передающими контурными антеннами С- и Кв-диапазонов, БРК2 с приемо-передающей перенацеливаемой антенной Ku-диапазона), с завершением разработки на КА «Ямал-300К»;

– парная полезная нагрузка при выведении (выведение совместно с КА «Telcom-3» или КА аналогичного класса в составе ракеты космического назначения);

– жесткие контрактные требования к показателям надежности КА;

– сжатые контрактные сроки создания.

Данные особенности, а также контрактные требования по квалификации и испытаниям электрорадиоизделий и материалов, оборудования, бортовых систем и КА [1] необходимо учитывать при планировании и сокращении отработки КА «Ямал-300К» в комплексной программе экспериментальной отработки (КПЭО) [2; 3]. Основное назначение КПЭО КА «Ямал-300К» – это организация испытаний по уровням отработки от простого к сложному [3]. Можно выделить следующие основные задачи различных уровней отработки КА:

– для КА в целом – оценивание взаимодействия бортовых систем, влияния их характеристик на характеристики КА, влияния стыкуемости оборудования после сборки, проверка программного обеспечения;

– для бортовых систем – оценивание взаимодействия оборудования и совершенства конструкции;

– для оборудования – оценивание взаимодействия элементов и выявление отказов, вызванных конструктивными особенностями оборудования.

Показатели надежности КА. К космическому аппарату «Ямал-300К» предъявляются жесткие требования по надежности.

Срок службы КА, исчисляемый от даты технической приемки КА на заводе-изготовителе, должен быть не менее 14,5 лет, в том числе:

– срок эксплуатации на геостационарной орбите (ГСО) с момента приемки в эксплуатацию – не менее 14 лет;

– транспортирование на полигон запуска и подготовка к запуску – 3 мес.;

– выведение, установка в заданную орбитальную позицию и летные испытания – 3 мес.

Срок службы платформы КА на ГСО с момента приемки в эксплуатацию КА должен быть не менее 15 лет.

Вероятность безотказной работы КА должна составлять:

– за период запуска, установки в заданную позицию ГСО, испытаний и сдачи КА в эксплуатацию – не менее 0,99;

– за 14 лет эксплуатации на ГСО – не менее 0,8.

Коэффициент готовности КА на этапе летных испытаний и в течение каждого года эксплуатации на ГСО должен быть не ниже 0,999.

Преемственность разработки и категории квалификации оборудования КА. Отработку и квалификацию оборудования, систем и КА «Ямал-300К» в целом планируется обеспечить на базе задела, созданного по КА более ранних проектов «Amos-5», «Telcom-3», в составе которых квалифицируются базовые платформы «Экспресс-1000Н» и «Экспресс-1000НТ» соответственно, а также на максимальном использовании результатов испытаний заимствованных составных частей. Преемственность определяется заимствуемым оборудованием бортовых систем базовых платформ:

– бортового комплекса управления (БКУ), кроме командно-измерительной системы (КИС) и антенно-фидерных устройств (АФУ) КИС;

– системы ориентации и стабилизации (СОС);

– системы электропитания (СЭП);

– системы коррекции;

– системы терморегулирования (СТР);

– механических устройств батареи солнечной (МУ БС);

– устройств отделения (УО, с модернизацией);

– конструкции платформы;

– бортовой кабельной сети платформы.

К новым разработкам относятся:

– антенны БРК1 (передающая глобальная антенна С-диапазона) и БРК2 (передающая глобальная антенна Кв-диапазона; – приемная зеркальная антенна Кв-диапазона; – передающая зеркальная антенна Кв-диапазона;

– блок питания БРК;

– блок управления БРК;

– устройство сопряжения бортовой аппаратуры служебного канала управления;

– антенны бортовой аппаратуры служебного канала управления;

– конструкция БРК.

Для оценки состояния оборудования, принятия решения о возможности его использования в КА «Ямал-300К» и определения объема его дополнительной отработки используется следующая классификация этого оборудования по категориям:

– категория А – оборудование, разрабатываемое специально для КА «Ямал-300К»;

– категория Б – оборудование, ранее разработанное и прошедшее конструкторско-доводочные испытания (КДИ) для другого КА с условиями эксплуатации, аналогичными данному, но планируемое к эксплуатации с некоторыми схемно-конструктивными изменениями (в том числе, в части выбора ЭРИ, деталей и материалов) или с изменениями технологического процесса изготовления;

– категория В – оборудование, ранее разработанное и прошедшее КДИ для другого изделия, заимствуемое на данное изделие без изменений, указанных для категории Б, но с предъявлением более жестких требований к условиям эксплуатации, рабочим характеристикам и (или) надежности;

– категория Г – оборудование, ранее разработанное и прошедшее КДИ для другого изделия, заимствуемое для данного изделия без изменений, указанных для категории Б и удовлетворяющее требованиям данного КА по условиям эксплуатации, рабочим характеристикам и надежности.

В результате рассмотрения состояния квалификации 76 наименований оборудования, используемого в КА «Ямал-300К», получено следующее распределение по категориям квалификации: 10,5 % (А), 6,6 % (Б), 1,3 % (В), 68 % (Г), 13,6 % (будет определено как Г после завершения квалификации в рамках предыдущих проектов). Новизна проекта по категориям А и Б, таким образом, не превышает 17,2 %, (при допустимом уровне не более 30 %), что является весьма привлекательным для заказчика. Наименования оборудования в размере 70 % имеют категорию квалификации В и Г, что позволяет сократить отработку на уровне оборудования.

Отработка оборудования. Номенклатура видов испытаний на уровне вновь разрабатываемых или модернизируемых узлов, агрегатов, приборов (оборудования) категорий А, Б, В оптимизируется и включает лабораторные отработочные испытания (ЛОИ, при необходимости), конструкторские доводочные испытания (КДИ, при необходимости), предварительные испытания (ПрИ, проводятся обязательно), ресурсные испытания (при необходимости, подтверждаемой расчетом), типовые испытания (при необходимости) и специальные испытания (при необходимости, подтверждаемой расчетом).

Последовательность испытаний бортовой аппаратуры должна соответствовать типовой матрице испытаний, приведенной в табл. 1

Отработочный комплект бортовой аппаратуры (БА) для КА «Ямал-300К» должен подвергаться отработочным и предварительным (квалификационным) испытаниям, которые включают следующие испытания на внешние воздействия:

– испытания на механические воздействия. Режимы в соответствии с ТЗ (спецификацией) на БА платформы «Экспресс-1000НТ» и КА «Ямал-300К»;

– температурные (термовакуумные для БА гр. 5,3; 5,4) испытания, в том числе циклические, в расширенном на ±10 °С относительно эксплуатационного диапазона температур. При квалификационных испытаниях (суммарно) на квалификационном комплекте, предназначенном для КДИ, ПрИ, РИ должны быть выполнены не менее 32 термоциклов, из них не менее 12-ти в вакууме, во время которых все блоки оборудования должны быть включены непрерывно (при отсутствии ограничений на длительности нахождения оборудования во включенном состоянии). Проверка работоспособности осуществляется на каждой предельной температурной полке. При этом должен производиться постоянный мониторинг определенных выходов во время всех переходов температуры. Продолжительность полки должна быть не менее двух часов после стабилизации температуры оборудования:

– 3-х кратные испытания на холодный старт (при минимальной отрицательной температуре с запасом 10 °С);

– испытания на спад давления для БА гр. 5,3; 5,4 с напряжением 100 В и более, включая БС, при этом, испыта-

Таблица 1

Типовая матрица последовательности испытаний бортовой аппаратуры

Испытания	КДИ/ПрИ	Первый летный образец	Летный образец
Функциональные испытания	+	+	+
Поиск резонанса при синусоидальных воздействиях (0–2 кГц)	+	+	+
Синусоидальная вибрация	+	+	–
Случайная вибрация / акустический шум	+	+	+
Поиск резонанса при синусоидальных воздействиях (0–2 кГц)	+	+	+
Удары	+	+	–
Функциональные испытания	+	+	+
Термовакуумные испытания	+	+	+
Функциональные испытания	+	+	+
Испытания на воздействия электрического поля (электромагнитная совместимость, электромагнитные поля, электростатический разряд)	+	+	–

Примечания:

1) испытания на механические воздействия должны проводиться по трем осям;

2) «+» – испытания проводятся; «–» – испытания не проводятся.

ния на холодный старт и спад давления могут совмещаться с температурными (термовакуумными) испытаниями.

Штатные (летные) комплекты БА в процессе изготовления и приемки должны подвергаться следующим видам испытаний:

– электротермотренировке длительностью не менее 300 ч, включая 10 термоциклов в диапазоне температур, расширенном на ±10 °С;

– испытаниям на механические воздействия (режимы в соответствии с ТУ);

– температурным (термовакуумным для БА гр. 5,3; 5,4) испытаниям в расширенном на ±5 °С температурном диапазоне в процессе приемочных испытаний. Для приемочных испытаний на летном комплекте должны быть выполнены, как минимум, 12 термоциклов, из них не менее 5-ти в вакууме (при давлении не более 10^{-5} Торр), во время которых блоки должны быть постоянно включены (при отсутствии ограничений на длительности нахождения оборудования во включенном состоянии). Проверка работоспособности осуществляется на каждой предельной температурной полке, а также должно производиться постоянное наблюдение определенных выходных сигналов оборудования на протяжении всех переходов температуры. Продолжительность полки должна быть не менее чем два часа после стабилизации температуры оборудования;

– 1-кратным испытаниям на холодный старт (при минимальной отрицательной температуре с запасом 5 °С);

– испытаниям на спад давления для БА гр. 5,3; 5,4 с напряжением 100 В и более, включая БС, при этом, испытания на холодный старт и спад давления могут совмещаться с температурными (термовакуумными) испытаниями.

Предложенные нормы отработочных и приемочных испытаний, кроме количества термоциклов и термовакуумных циклов, оборудование для КА «Ямал-300К» является типовым для всех КА ОАО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева», находящихся в разработке и эксплуатации. Они апробированы на практике при эксплуатации КА разного функционального назначения и в целом, исходя из результатов многолетних анализов надежности и технического состояния КА; являются достаточно эффективными, поскольку обеспечивают эксплуатационную надежность и гарантийный срок службы ряда эксплуатируемых КА. Полная апробация достигнута для КА герметичного исполнения («Экспресс-А», «Сесат»), которые отработали требуемый срок службы на орбите (5 и 10 лет соответственно) и продолжают эксплуатироваться.

Для БА КА «Ямал-300К», по сравнению с другими проектами, существенно увеличено количество термоциклов и термовакуумных циклов при отработке и приемочных испытаниях, что обосновывается как необходимостью обеспечения требуемой эксплуатационной безотказности данного КА – негерметичного исполнения, так и требованиями контракта по квалификации и приемке.

Отработка бортовых систем. В связи с квалификацией платформы в рамках предыдущих проектов отработка на уровне боровых систем платформы также пересматривается и включает следующее:

– «огневые» стыковочные испытания оборудования системы коррекции;

– отработку прочности конструкции КА и его элементов на инженерной модели КА и в составе блока КА;

– отработку БКУ в составе отработочного изделия 1,08 БКУ;

– отработку программного обеспечения (автономная и комплексная отладка программного обеспечения систем на технологическом комплексе производства программ (ТКПП) и наземном отладочном комплексе (НОК);

– отработку бортового программного обеспечения в режимах КА на НОК;

– комплексные испытания в составе КА.

Таким образом, для КА «Ямал-300К» не предусматривается изготовление ряда отработочных изделий для испытаний бортовых систем, требуемых по ГОСТ В 22571 (01 ИМ для СОС, 07ТВИ для СТР) проведение автономных испытаний СЭП [4].

Отработка платформы и КА. Матрица последовательности испытаний платформы и КА «Ямал-300К» приведена в табл. 2.

Общая структурная схема наземной экспериментальной отработки КА ««Ямал-300К» приведена на рисунке.

Оценка эффективности сокращения сроков отработки. КА «Ямал-300К является коммерческим проектом с контрактно-фиксированной стоимостью создания, поэтому сокращения его НЭО выполняются на основе оптимизации объема отработки (V). Целесообразно осуществлять вариант минимизации срока НЭО КА при заданных стоимости НЭО и качестве КА ($T_{\text{нэо}} = \min\limits_{(V)} T$, $C_{\Sigma} \le C_{\Sigma}^{\text{доп}}$, $A = A^{\text{доп}}$) [5], где $T_{\text{нэо}}$ – время НЭО; C_{Σ} – суммарная стоимость НЭО; $C_{\Sigma}^{\text{доп}}$ – суммарная допустимая стоимость НЭО; A – показатель качества; $A^{\text{доп}}$ – минимально допустимое значение показателя качества.

Однако, учитывая уникальность его процесса создания, ужесточение норм и объемов испытаний в части термовакуммных испытаний заимствуемой и вновь разрабатываемой БА, стоимость разработки, включая НЭО, не будет являться жестким ограничением и может превышать первоначально планируемые затраты. При этом, сроки разработки являются фиксированными и строго контролируются Заказчиком.

Метод оценки текущей эффективности оптимизации отработки по результатам отдельных этапов и видов испытаний КА с учетом обеспечения требуемых показателей качества на различных этапах отработки предложен в [5]. Вместе с тем, основным критерием эффективности отработки в целом являются результаты летных испытаний и штатной эксплуатации КА «Ямал-300К» (отсутствие системных отказов и неисправностей конструктивного характера и электрорадиоизделий, обеспечение требуемого срока службы, которые в перспективе могут стать основанием для распространения опыта отработки КА «Ямал-300К» на другие проекты.

Оценка надежности по результатам НЭО. Основными задачами НЭО КА «Ямал-300К» являются:

– подтверждение ресурсных характеристик приборов, систем и КА в целом;

– подтверждение надежности и других эксплуатационных характеристик КА.

Оценка надежности КА на этапе НЭО проводится на основе функций надежности КА, бортовых систем и обо-

рудования по информации, имеющейся на момент оценивания. Расчет функций надежности КА может проводиться следующим образом:

– расчетно-экспериментальным методом, при котором показатели надежности всех или некоторых составных частей КА определяются по результатам испытаний, а показатель надежности КА в целом рассчитывается по математической модели КА (для ВБР) [6];

– экспериментальным методом оценки на основе статистической обработки отказов, выявленных при испытаниях, по разным признакам деления и результатам оценки эффективности различных видов испытаний бортовой аппаратуры, включая дополнительные отбраковочные испытания комплектующих ЭРИ перед их комплектацией в БА (для ВБР) [7];

– с помощью имитационной модели функционирования КА «Ямал-300К» (для ВБР);

– с помощью моделей объединения информации для оценки показателей долговечности КА и БА.

Результаты оценки надежности приводятся в итоговом отчете по результатам НЭО КА.

Таким образом, предложен достаточный объем отработки космического аппарата КА «Ямал-300К», создаваемого на базе квалифицированной платформы «Экспресс-1000НТ». Объем отработки учитывает особенности КА, обусловленные требованиями контракта. Рассмотрены вопросы оценки эффективности оптимизации отработки и оценки надежности КА по результатам НЭО. Положительные результаты летных испытаний и штатной эксплуатации КА «Ямал-300К» могут быть учтены при планировании отработки КА перспективных проектов.

Библиографические ссылки

1. Требования по квалификации и приемке. Приложение № 5 к контракту на создание КК «Ямал-300» с КА «Ямал-300К».

2. Оптимизация отработки перспективных космических аппаратов связи длительного функционирования, создаваемых с использованием платформ, имеющих летную квалификацию / В. Е. Патраев [и др.] // Матер. XII Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космич. систем акад. М. Ф. Решетнева ; под общ. ред. И. В. Ковалева ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. С. 20–21.

3. СТП 154-34-2005.СМК. Комплексная программа экспериментальной отработки космического комплекса и его изделий: состав, содержание и порядок разработки / ОАО «ИСС им. акад. М. Ф. Решетнева». Красноярск, 2006.

4. Патраев В. Е., Максимов Ю. В. Оптимизация наземной отработки перспективных космических аппаратов // Вестник СибГАУ. Вып. 5. 2004. С. 205–210.

5. Оценка эффективности оптимизации экспериментальной отработки космических аппаратов навигации и связи / В. Е. Патраев [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып. 4(17). 2007. С. 67–71.

6. Патраев В. Е. Модель надежности космического аппарата // САКС-2004 : тез. докл. Междунар. науч.-практич. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

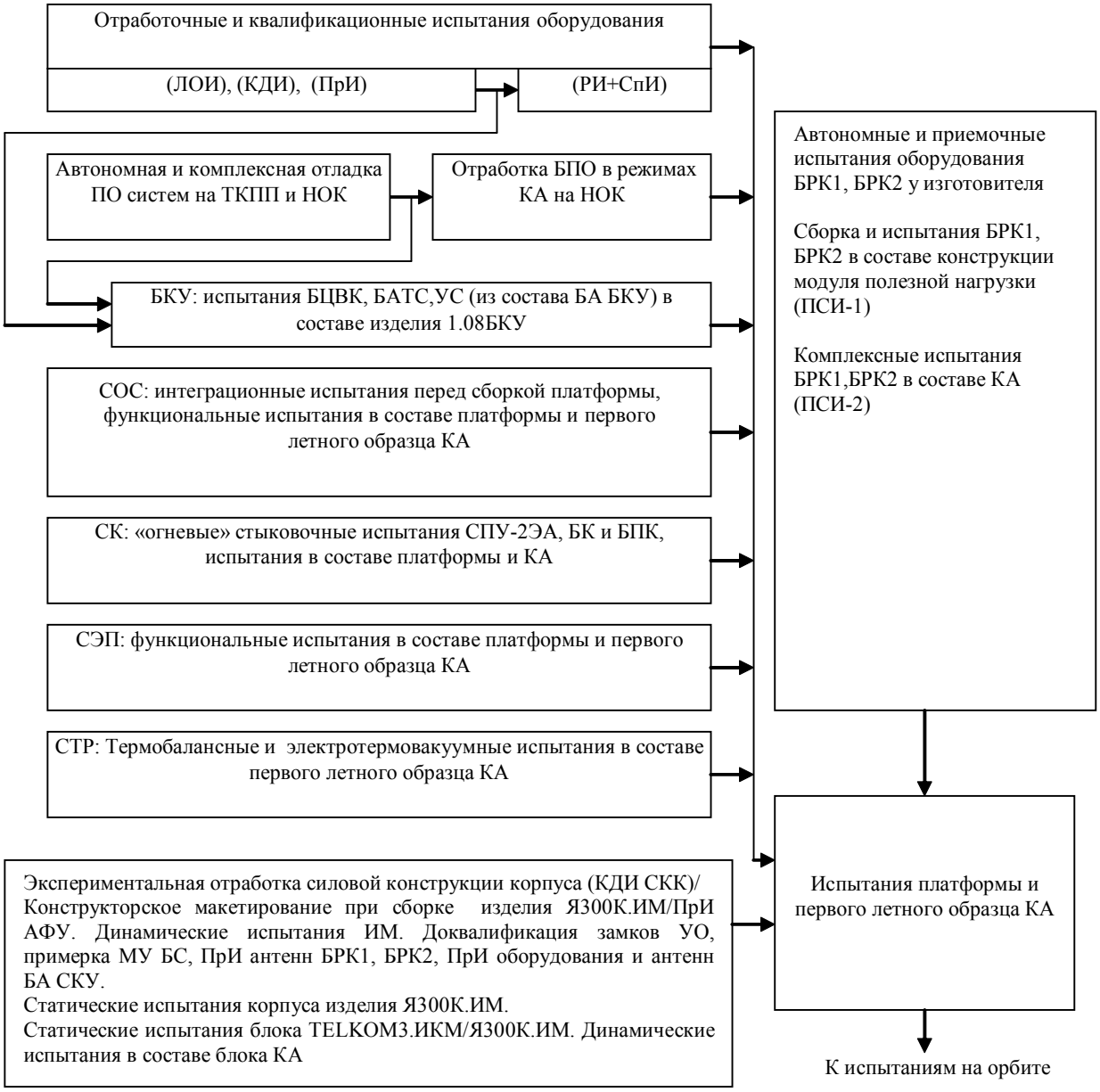
Таблица 2

Матрица последовательности испытаний платформы и КА «Ямал-300К»

Программа испытаний	Первый летный КА
Интеграционные испытания систем платформы – интеграционные испытания СОС	+
Электрические испытания платформы: интеграционные испытания платформы; функциональные испытания систем платформы; функциональные испытания платформы	 + + +
Электрические испытания КА перед испытаниями на внешние воздействия: интеграционные испытания КА; функциональные испытания систем; испытания на электромагнитную совместимость и электростатические разряды; функциональные испытания КА	 + + + +
Тепловые испытания: термобалансные испытания; термовакуумные испытания	 + +
Испытания на механические воздействия: испытания на синусоидальные вибрации по трем осям; акустические испытания	 + +
Электрические испытания КА после испытаний на механические воздействия: функциональные испытания систем; проверка управления из центра управления полетом; функциональные испытания КА	 + + +
Итоговые электрические испытания КА: функциональные испытания КА; штатная стыковка трактов антенн модуля полезной нагрузки; высокочастотные испытания	 + + +
Раскрытие, контроль положения антенн полезной нагрузки, датчиков СОС, двигательных установок	+
Проверка на герметичность, заправка трактов СТР	+
Заключительные операции	+

Примечание «+» – испытания проводятся

7. Патраев В. Е., Федосов В. В. Оценка надежности бортовой аппаратуры по результатам дополнительных отбраковочных испытаний комплектующих электрорадиоизделий и заводских испытаний бортовой аппаратуры // Авиакосмическое приборостроение. М., 2006. № 8. С. 46–49.



Наземная экспериментальная отработка КА «Ямал-300К»

V. E. Patraev

OPTIMIZATION OF WORKING OFF OF THE SPACE VEHICLE «JAMAL-300K» CREATED ON THE BASIS OF THE RECURRENT PLATFORM

Questions of planning and optimization of ground experimental working off of a perspective space vehicle «Jamal-300K» are considered.

Keywords: a space vehicle, reliability, land experimental working off, optimization.

© Патраев В. Е., 2010

УДК 621.4-8; 621.4:620.9

Н. В. Морозов, В. П. Карасев

ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ НА НИЗКОКИПЯЩЕМ РАБОЧЕМ ТЕЛЕ*

Освещается система парогенераторной установки с органическим рабочим телом. Рассматривается алгоритм расчета паровых турбин на низкокипящих рабочих телах с учетом изменения показателя адиабаты в зависимости от давления и температуры в зоне перегретого пара.

Ключевые слова: паровая турбина, фреон, показатель адиабаты, низкопотенциальное тепло, хладоген.

В настоящее время вопросы выработки электроэнергии становятся все более актуальными. Это обусловлено ростом стоимости источников энергии (нефть, газ, уголь) и как следствие, растут тарифы.

В ходе повседневной деятельности промышленных предприятий с различными теплоносителями сбрасывается огромное количество тепла, возможность использования которого в рабочем цикле предприятия или объекта в данное время не реализована. Теплоносителями могут являться как сточные воды с температурой в несколько градусов, так и газы, образующиеся при коксовании угля с температурой, достигающей 400 °С. В качестве других источников тепловой энергии может использоваться тепло, сбрасываемое различными агрегатами и системами в процессе их работы. Некоторые источники тепла и их температуры представлены в таблице.

Энергию источников можно собрать при помощи тепловых насосов, но они не позволяют преобразовывать тепловую энергию в другие виды. А из данного тепла желательно получить энергию, удобную для транспортирования на большие расстояния, т. е. электрическую.

Низкие температуры большинства источников тепла и их негазообразное состояние, например, масло в системах вертолета, а также отсутствие высокого давления в газообразных источниках, не дают возможности использовать их тепловую энергию напрямую. Энергию источников необходимо снимать при помощи низкокипящих рабочих тел, как в тепловых насосах. После снятия тепла с источника производится преобразование тепловой энергии в механическую, происходящее на лопаточной машине (паровой турбине).

Исходя из экологических и экономических соображений, рабочий контур установки должен иметь замкнутую схему, т. е. рабочее тело должно использоваться многократно. Поскольку хладогены являются опасными химическими соединениями, то такая схема позволяет избежать отрицательного воздействия на окружающую среду путем прямого выброса отработавшего хладогена из системы, а также в несколько порядков снижает вероятность пагубного воздействия на человеческий организм.

Для реализации замкнутой схемы необходимо ввести в систему элемент, обеспечивающий циркуляции рабочего тела в системе. В качестве такого устройства возможно использовать насос для циркуляции рабочего тела в жидкой фазе, или компрессор – для циркуляции хладагента в состоянии перегретого пара. В отличие от насосной системы, компрессорная не требует перевода рабочего тела в жидкую фазу после турбины.

Установка (рис. 1) состоит из емкости с рабочим телом, насоса, испарителя, турбогенератора, конденсатора. В качестве рабочего тела рассматривается хладагент фреон R22 (хлордифторметан), по своим физико-химическим характеристикам наиболее подходящий для данной системы и широко использующийся в современной холодильной технике.

Рабочий цикл системы включает в себя четыре участка (рис. 2). На первом участке *1–2* происходит подача рабочего тела насосом в испаритель, при этом увеличивается давление фреона в системе и незначительно повышается температура за счет потерь на трение. Второй участок *2–3* показывает испарение и перегрев рабочего тела в испарителе при постоянном давлении, отбор тепла от источника. Третий участок *3–4* соответствует переводу тепловой энергии рабочего тела в механическую энергию, при этом на валу турбины понижается температура и давление. На четвертом участке *4–1* происходит конденсация рабочего тела до параметров рабочего тела на входе в насос, необходимая для осуществления замкнутого цикла работы.

Основными точками, влияющими на выдаваемую системой мощность, являются точки *3* и *4* (см. рис. 2). Точка *4* – точка начала конденсации рабочего тела, зависящая от типа конденсатора и вещества, используемого

Теплоносители

Вид теплоносителя	Температура, °С
Сточные воды	15–19
Производственные выбросы газа	250–300
Температура от оборудования	30–100
Температура газа при коксовании угля	400–430
Масло из двигателя ТВ3-117	80–150
Масло из редуктора ВР-14	70–80

* Работа выполнена при финансовой поддержке по федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (государственный контракт П 1657 от 15.09.09 г.).

для теплосъема. Точка *4* может находится в области низких температур при использовании теплосъема другим хладагентом, но выгоднее использовать дармовые источники, такие как воздух из окружающей среды и, если позволяют условия, то воду. Точка *3* – точка оптимального перегрева рабочего тела. Она показывает оптимальный перегрев рабочего тела при заданном давлении испарения и выбирается в зависимости от точки *4*. Максимальная температура в точке *3* ограничивается предельной температурой конкретного хладагента. Исходя из значений рабочего тела (точка *3*) можно судить о наиболее подходящих источниках тепла. Так при использовании в системе воздушного конденсатора (параметры пара в точке *4* составляют 11,8 бар и 36 °С) оптимальное значение температуры в точке *3* равно 100 °С при давлении 30 бар. Для такой системы подходят все источники с темпе-

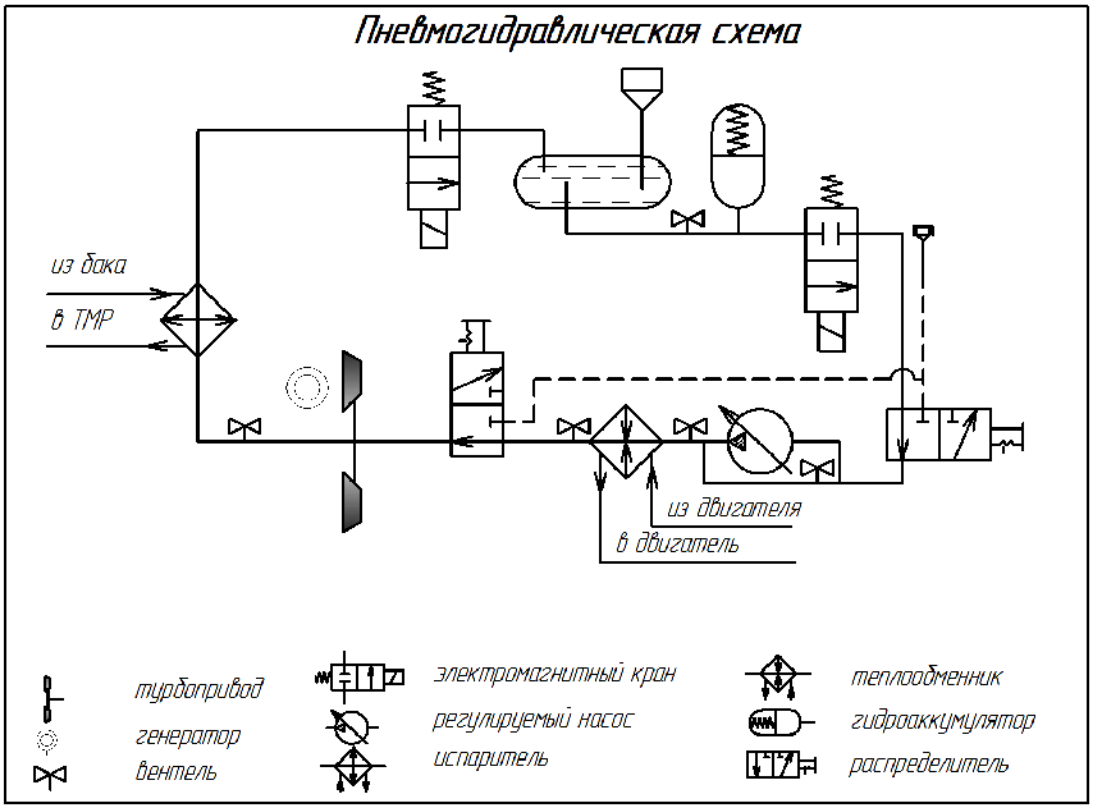


Рис. 1. Пневмогидравлическая схема системы при использовании в качестве источника тепла маслосистему вертолета

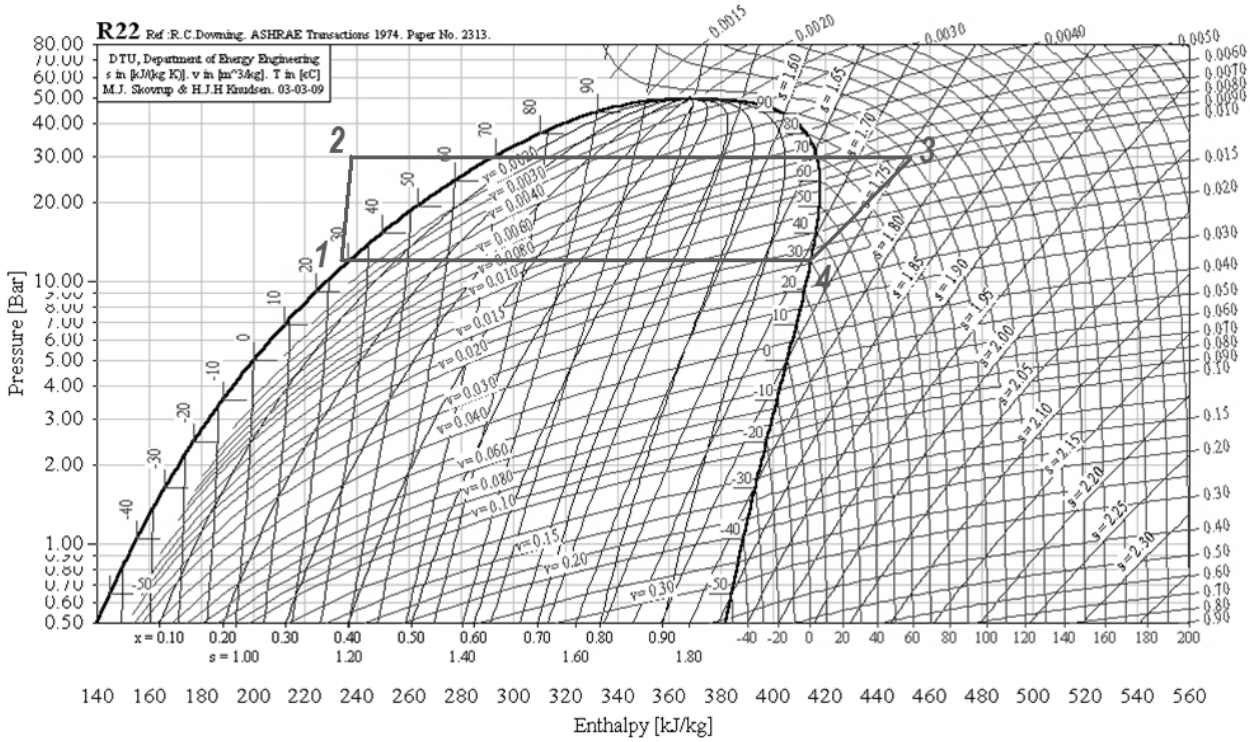


Рис. 2. Цикл установки в *Lg P–I* координатах

ратурой более 110 °С. Для повышения эффективности работы системы можно осуществлять частичный перевод рабочего тела в жидкую фазу, тем самым, увеличивая область использованной энергии, переданной при нагреве рабочего тела. Современные паровые турбины могут работать при 20 % жидкости, но данные вопросы требуют дополнительной проработки, так как нет методики расчета с изменением процентного соотношения фаз по проточной части осевой турбины.

Для трубопроводов с небольшим расходом рабочего тела и высоким перепадом давления наиболее оптимальной по КПД является осевая турбина с парциальным подводом рабочего тела.

Мощность на валу турбины и компрессора определяется через адиабатную работу $L_{ад}$, расход рабочего тела, КПД турбины $\eta_т$ или компрессора $\eta_к$ [1], [2], [3]:

$$N = G \cdot L_{ад} \cdot \eta_т,$$

где N – мощность на валу турбины, Вт; $L_{ад}$ – работа адиабатическая, кДж/кг; G – расход рабочего тела, кг/с; $\eta_т$ – КПД турбины.

Адиабатическая работа на валу турбины и компрессора определяется через параметры рабочего тела следующим образом:

$$L_{ад.т} = \frac{k}{k-1} R T_Г^* \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \right);$$

$$L_{цбк.s} = \frac{k}{k-1} R T_{вх.к} \left(\pi_{цбк}^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right),$$

где $L_{ад.т}$ – работа адиабатическая турбины, кДж/кг; R – газовая постоянная, Дж/кг·К; $T^*_г$ – температура газа на входе в турбину, К; P_1 и P_2 – давление газа до турбины и за ней, Па; k – показатель изоэнтропы; $L_{цбк.s}$ – работа адиабатическая компрессора, кДж/кг; $p_{цбк}$ – степень повышения давления в компрессоре; $T_{вх.к}$ – температура газа на входе в компрессор, К.

По адиабатической работе определяется адиабатическая скорость, скорость звука и температура на выходе из турбины и компрессора:

$$c = \sqrt{2 \cdot L_{ад}};$$

$$a_{кр} = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot R \cdot T_{вх}};$$

$$T_{вых.т} = T_г - \frac{L_{ад.т}}{R \frac{k}{k-1}};$$

$$T_{вых.к} = T_{вх.к} + \frac{L_{цбк.s}}{R \frac{k}{k-1}},$$

где c – адиабатическая скорость, м/с; $\alpha_{кр}$ – скорость звука в сопле, м/с; $T_{вых.к}$ – температура газа на выходе из компрессора, К; $T_{вых.т}$ – температура газа на выходе из турбины, К.

Данные параметры являются определяющими для выполнения кинематического расчета и проектирования лопаток направляющего аппарата и рабочего колеса компрессора; соплового аппарата и рабочего колеса турбины.

Процессы в компрессоре и газовой турбине на традиционных рабочих телах исследованы достаточно полно, и алгоритмы расчета позволяют достаточно точно определять параметры проточной части.

Особенности низкокипящих рабочих тел – это переменный показатель адиабаты, зависящий от температуры и давления [4].

Аналитической зависимости показателя адиабаты от температуры не существует, а имеются только табличные значения.

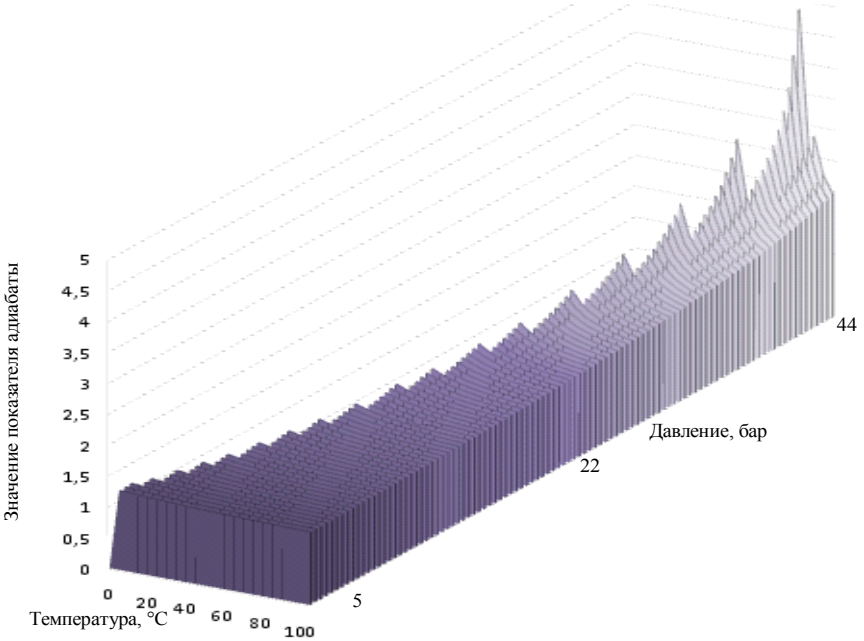


Рис. 3. Изменение показателя адиабаты в зависимости от давления и температуры

По литературным источникам [4; 5] построена поверхность показателя адиабаты в зависимости от температуры и давления (рис. 3).

Предлагается расчет адиабатической работы на валу турбины и температуры на выходе с учетом переменного коэффициента адиабаты:

$$L_{\text{ад.т}} = \frac{k'}{k'-1} R T_{\text{г}}^{*} \left(1 - \frac{1}{\left(P_1 / P_2 \right)^{\frac{k'-1}{k'}}} \right);$$

$$T_{\text{вых.т}} = T_{\text{г}} - \frac{L_{\text{ад.т}}}{R \frac{k'}{k'-1}},$$

где $k' = f(P, T)$.

Поскольку поверхность имеет сложный характер, пикообразные выступы, описать ее одной аналитической зависимостью не возможно.

Расчет проводился методом конечных разностей, путем разбития участка на малые значения по давлению и суммированию адиабатной работы каждого участка.

Расчетные зависимости приведены на рис. 4 и 5.

Наибольшее влияние изменения показателя адиабаты отмечается в области температуры, близкой к температуре разложения рабочего тела, до 5 % по адиабатной работе и до 20 % по температуре рабочего тела на выходе. Также влияние показателя адиабаты увеличивается при увеличении давления входа.

Аналогичные зависимости можно построить для компрессора. При работе компрессора влияние переменности показателя адиабаты будет более существенно, так как рабочее тело находится в зоне фазового перехода.

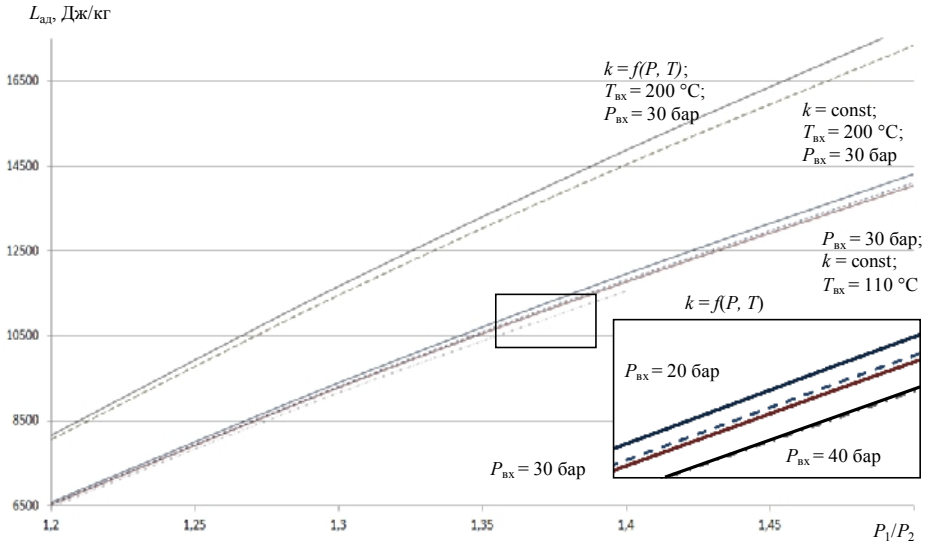


Рис. 4. Значение адиабатической работы при различных параметрах: - - - – k = const; – $k = f(P, T)$

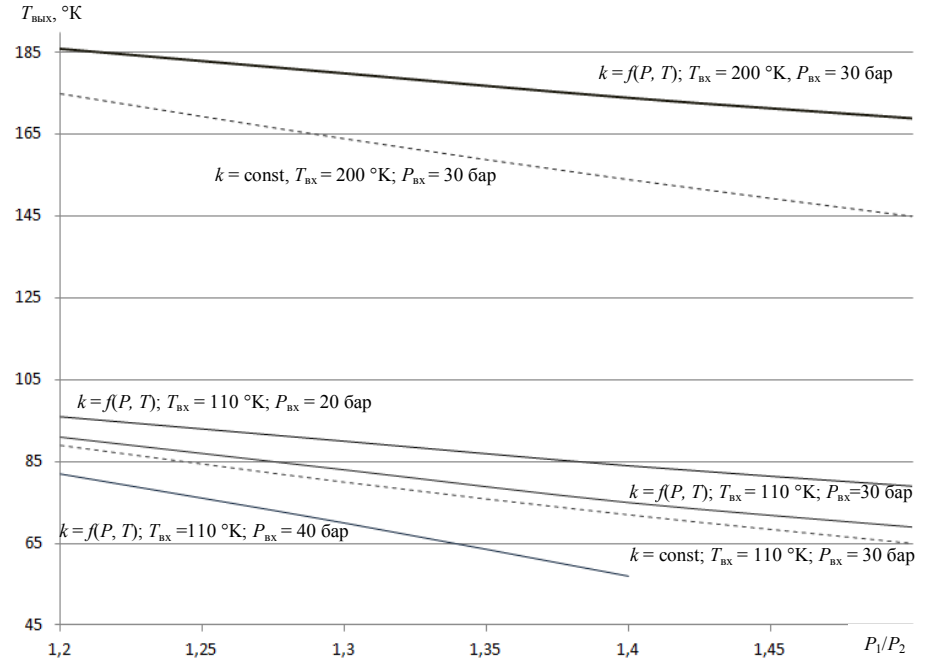


Рис. 5. Значение температуры потока на выходе из турбины при различных показателях адиабаты - - - – k = const; – $k = f(P, T)$

Проведенные расчеты показывают, что для более точного определения термодинамических параметров процессов в турбине и компрессоре необходимо проводить учет изменения показателя адиабаты. Расчет кинематических параметров потока по тракту и проектирование проточной части и лопаток турбин и компрессоров необходимо проводить с учетом переменного показателя адиабаты.

Библиографические ссылки

1. Епифанова В. И. Компрессорные и расширительные турбомашины радиального типа : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998.

2. Конструкция и проектировочный расчет жидкостных ракетных двигателей : учебник для вузов / Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин [и др.] ; под общ. ред. Г. Г. Гахунина. М. : Машиностроение, 1989.

3. Нимич Г. В., Михайлов В. А., Бондарь Е. С. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие. Киев : Изд-во ИВИК, 2003.

4. Паротурбинные установки с органическими рабочими телами / М. М. Гришутин, А. П. Севастьянов, Л. И. Селезнев [и др.]. Л. : Машиностроение, 1988.

5. Теплофизические свойства фреонов : справ. данные. Т. 1. Фреоны метанового ряда / В. В. Алтунин, В. З. Геллер, Е. К. Петров [и др.] ; под ред. С. Л. Ривкина. М. : Изд-во стандартов, 1980.

N. V. Morozov, V. P. Karasev

STEAM TURBINES WITH LOW-BOILING WORKING MEDIUM

The subject of the article is the cirquit design of a steam-generator plant with a natural working agent. The article suggests an algorithm for calculation of steam turbines with low-boiling working medium, with accounts of the correlation between the adiabatic curve indication and pressure and temperature in the overheated vapor zone.

Keywords: steam turbine, freon, adiabatic curve indicator, low-grade heat, coolant.

© Морозов Н. В., Карасев В. П., 2010

УДК 629.7.017

О. Г. Бойко, Л. Г. Шаймарданов

МЕТОД РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИНДИВИДУАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ АГРЕГАТОВ

Рассмотрена возможность построения метода расчета надежности систем с индивидуальным резервированием, отличного от традиционного и учитывающего возможность реализации в системе различных сценариев развития отказа.

Ключевые слова: сложные системы, анализ надежности.

В традиционной методике расчета надежности сложных систем используется теорема умножения вероятностей. При последовательном соединении перемножаются вероятности безотказной работы, при параллельном – вероятности отказов агрегатов [1; 2]. Теорема умножения вероятностей получена применительно к вероятностям дискретных событий, и использование ее процедур к интегральным функциям вероятностей отказов агрегатов систем представляется не правомерным [3; 4; 5].

При использовании дискретных значений вероятностей отказов агрегатов теорема умножения вероятностей может быть с успехом применена при решении следующих задач:

– расчет надежности систем при только параллельном и только последовательном соединении агрегатов;

– расчет надежности сложных систем только с общим резервированием.

При индивидуальном резервировании решение задачи расчета надежности сложной системы с использованием традиционного подхода к применению теоремы умножения вероятностей дает завышенные значения вероятности отказа системы. Расмотрим это, а также существо предлагаемого альтернативного метода на примере простейшей системы с индивидуальным резервированием.

Рассматривается система, состоящая из двух последовательно включенных блоков, в каждом из которых, два агрегата соединены параллельно (рис. 1).

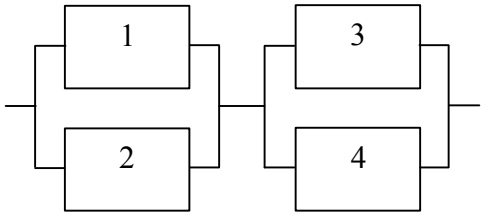


Рис. 1. Расчетная схема простейшей системы

Полагаем, что в системе (рис. 1) все агрегаты одинаковые и имеют параметр потока отказов w. При распределении с равномерной плотностью вероятности, интегральная функция вероятности отказа агрегата имеет вид

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

Расчет выполним как того требуют Нормы летной годности самолетов [6] для $t = 1$ ч. Тогда вероятность отказа агрегата за 1 час определится следующим образом:

$$q(1) = \omega \cdot 1.$$

При традиционном подходе к расчету надежности рассматриваемой системы, на первом шаге определяется вероятность отказа одного блока параллельно соединенных агрегатов

$$q_{\text{тр}}^{\text{б}}(1) = \omega^2,$$

и его вероятность безотказной работы

$$p_{\text{тр}}^{\text{б}}(1) = 1 - \omega^2.$$

Вторым шагом определяется вероятность безотказной работы всей рассматриваемой системы

$$P_{\text{тр}}(1) = (1 - \omega^2)^2,$$

и искомая вероятность ее отказа

$$Q_{\text{тр}}(1) = 1 - (1 - \omega^2)^2. \quad (1)$$

Рассматривая построение альтернативного решения задачи расчета надежности, следует отметить, что в простейшей системе (рис. 1) отказ может реализоваться по двум сценариям (последовательностям отказов агрегатов).

При любом сценарии в начале с вероятностью ω отказывает первым любой из агрегатов системы. Пусть это будет агрегат под № 1 (рис. 1). Далее, без учета условных вероятностей, с одинаковой вероятностью ω может отказать любой из трех исправных агрегатов.

При первом сценарии потребуем, чтобы вторым отказал агрегат под № 2. Это возможно с вероятностью $\frac{1}{3}\omega$, поскольку оставалось три исправных агрегата. Тогда вероятность отказа агрегатов № 1 и 2, т. е. вероятность отказа системы по первому сценарию, будет иметь вид

$$Q_{\text{ал}}^{c1}(1) = \frac{\omega^2}{3}. \quad (2)$$

При втором сценарии развития отказа системы потребуем, чтобы после отказа агрегата № 1 с вероятностью ω, отказал один из агрегатов во втором блоке, т. е. агрегат № 3 либо 4. Вероятность реализации этого события $\frac{2}{3}\omega$. После отказа агрегата № 3 либо 4 в системе остаются два последовательно соединенных неотказавших агрегата. Вероятность отказа такой системы в соответствии с теоремой умножения вероятностей рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{тр}}^{2,4}(1) = 1 - (1 - \omega)^2.$$

Тогда вероятность отказа рассматриваемой системы по второму сценарию будет иметь вид

$$Q_{\text{ал}}^{c2}(1) = \omega \frac{2}{3} \omega [1 - (1 - \omega)^2]. \quad (3)$$

Для сопоставления полученных результатов примем $\omega = 1 \times 10^{-3}$ и определим следующее:

– по выражению (1) – $Q_{\text{тр}}(1) = 2 \times 10^{-6}$;

– выражению (2) – $Q_{\text{ал}}^{c1}(1) = 3{,}33 \times 10^{-7}$;

– выражению (3) – $Q_{\text{ал}}^{c2}(1) = 1{,}3 \times 10^{-8}$.

Итак, получены три решения для расчета надежности системы с индивидуальным резервированием. В соответствии с этими решениями получены три различных значения вероятности отказа рассматриваемой системы. Ниже обсуждается их правомерность.

Совершенно очевидно, что у систем только с последовательным и только с параллельным соединением агрегатов может быть реализован только один сценарий развития отказа. При последовательном соединении достаточно отказать одному агрегату и система становится неработоспособной. Для потери работоспособности системы с параллельным соединением необходимо, чтобы отказали все ее агрегаты. Это и обеспечивает правомерность применения для расчета их надежности теоремы умножения вероятностей.

Система с общим резервированием сложнее, но и ее отказ реализуется только по одному сценарию. Каждая из параллельно соединенных подсистем, с последовательно соединенными агрегатами, отказывает по единому сценарию. После определения вероятности отказа подсистем, система рассматривается как состоящая только из параллельно соединенных элементов, вероятности отказа которых равны вероятностям отказа подсистем. Для этой системы с параллельно соединенными элементами, также возможен только один сценарий отказа.

При расчете надежности системы с индивидуальным резервированием, при традиционном подходе первым делом определяются вероятности отказов блоков, содержащих параллельно соединенные агрегаты. Это дает возможность привести систему с индивидуальным резервированием к системе с последовательным соединением элементов, вероятности отказа которых равны вероятностям отказов блоков, включающих параллельно соединенные элементы. Затем определяется вероятность отказа системы, содержащей только последовательно соединенные элементы.

В действительности у развитой системы с индивидуальным резервированием возможна реализация многих сценариев развития отказа. Они определят несколько значений вероятностей отказа системы, и отказ системы определится их суммой.

Рассмотрим более общий случай системы с индивидуальным резервированием. Положим, что система содержит n последовательно соединенных блоков, содержащих по $m = 2$ параллельно включенных агрегатов (рис. 2).

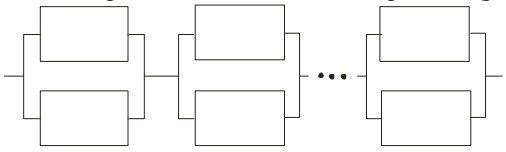


Рис. 2. Система с индивидуальным резервированием

При традиционном подходе вначале определяется вероятность отказа на 1 час блока параллельно включенных агрегатов

$$q_{\text{тр}}^{\text{б}} = \omega^m = \omega^2.$$

Затем система с индивидуальным резервированием (рис. 2) заменяется на систему с последовательно соединенными блоками (рис. 3).

На последнем шаге определяется вероятность безотказной работы системы для n-блоков

$$P_{\text{тр}}(1) = \left(1-\omega^2\right)^n,$$

и вероятность ее отказа

$$Q_{\text{тр}}(1) = 1-\left(1-\omega^2\right)^n. \qquad (4)$$

Рис. 3. Приведенная система с индивидуальным резервированием

При последовательном соединении агрегатов либо блоков вероятность отказа (4) системы, определенная в соответствии с традиционным подходом, монотонно возрастает с увеличением n. Вместе с этим следует отметить, что рассматриваемая система состоит из $2n$-агрегатов, имеющих одинаковые вероятности отказов и вполне вероятно, что система может остаться работоспособной при отказе более чем двух агрегатов (по одному в некоторых блоках). Причем для системы вероятность остаться работоспособной в действительности возрастает по мере увеличения n, а вероятность отказа уменьшается.

При альтернативном подходе к расчету надежности рассматриваемой системы предложено рассматривать различные сценарии отказов. Наибольшее значение вероятности отказа дает сценарий, при котором отказывают 2 агрегата в одном блоке. Определим эту вероятность.

Поскольку агрегаты имеют одинаковую вероятность отказа, первым откажет любой из агрегатов с вероятностью w. Поскольку в системе число агрегатов $n \times m$ и принято $m = 2$, то отказ второго агрегата в одном блоке при условии, что первый отказал, возможен с вероятностью

$$q_{\text{тр}}^{\text{б}}(1) = \frac{1}{2n-1}\omega.$$

Тогда вероятность отказа системы при этом сценарии, в соответствии с предлагаемым альтернативным подходом, будет иметь вид

$$Q_{\text{ал}}^{c1}(1) = \frac{\omega^2}{2n-1}. \qquad (5)$$

В соответствии с выражением (5) вероятность отказа системы является убывающей функцией n последовательно соединенных блоков. Другие сценарии развития отказов систем определяют существенно меньшие вероятности, поскольку в зависимости от числа i включенных в сценарий отказавших агрегатов вероятность отказа системы определится следующим образом:

$$Q_{\text{ал}}^{ci}(1) = \frac{\omega^i}{\prod_{j=2}^{i}(2n-j-1)}. \qquad (6)$$

Покажем это на числовом примере. Положим, что система состоит из $n = 10$ последовательно соединенных блоков, включающих по $m = 2$ параллельно соединенных агрегатов, параметры потоков отказов ω которых одинаковы и равны 10^{-4}. Это значение ω свойственно низконадежным агрегатам. Вероятности отказов системы при различных сценариях отказов, определяемых числом i отказавших агрегатов, приводящих систему к отказу, будут выглядеть следующим образом:

– при $i = 2$ – $Q_{\text{ал}}^{c2} = 5,26\times10^{-10}$;
– $i = 3$ – $Q_{\text{ал}}^{c3} = 2,9\times10^{-15}$;
– $i = 4$ – $Q_{\text{ал}}^{c4} = 1,72\times10^{-20}$;
– $i = 5$ – $Q_{\text{ал}}^{c5} = 1,07\times10^{-25}$.

Результаты выполненных расчетов с очевидностью показывают, что вероятности отказов при $i \geq 3$ на 5 и более порядков меньше, чем первая вероятность отказа при $i = 2$. Это и дает основание не определять сумму всех подобных членов в расчетах надежности систем.

Из (6) следует, что при всех сценариях развития отказов в системе, вероятность ее отказа уменьшается при увеличении n. Характер изменения $Q_{\text{ал}}^{c1}(1)$ противоположен характеру изменения $Q_{\text{тр}}(1)$.

Изложенное обеспечивает возможность сформулировать правило расчета надежности сложных систем.

Если в сложной системе использовано общее и индивидуальное резервирование агрегатов, последовательно соединенных ветвей агрегатов, и в процессе расчета вероятности отказа резервированных ветвей с последовательным соединением получено не более одного блока с параллельно соединенными элементами, то правомерно продолжение расчета с использованием теоремы умножения вероятностей. Если получено более одного последовательно соединенного блока резервированных элементов, то необходимо рассматривать возможные сценарии реализации отказа системы.

На самолетах гражданской авиации используются функциональные системы, как с общим, так и с индивидуальным резервированием. При этом, вследствие сложности систем, их отнесение к тому либо другому типу резервирования, а, следовательно, и построение процедуры расчета надежности требуют предварительного анализа. Рассмотрим с этих позиций структуру системы кондиционирования воздуха (СКВ) самолета Ту-154 М.

Расчетная схема СКВ, составленная на основе ее функциональной схемы, приведена на рис. 4.

Не расшифровывая наименования и назначение агрегатов, отметим, что участок I включает агрегаты системы отбора воздуха от трех авиадвигателей, участок II – агрегаты ветвей правого и левого борта самолета системы регулирования давления наддува воздуха, участок III –

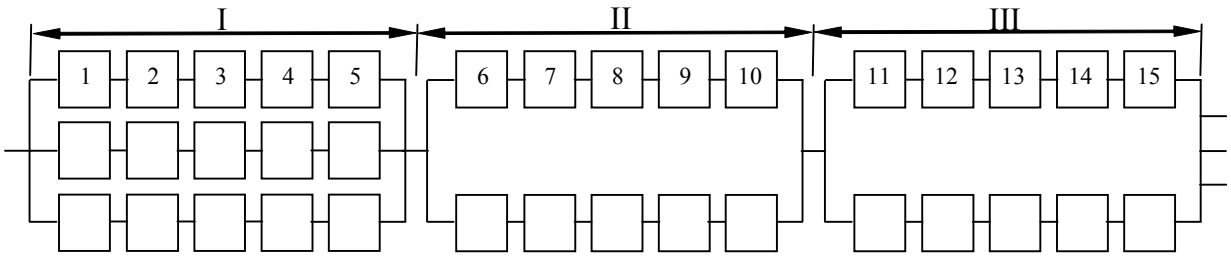


Рис. 4. Расчетная схема СКВ самолета Ту-154 М

агрегаты системы регулирования температуры воздуха в салонах и в кабине экипажа.

После расчета вероятностей отказа отдельных систем на участках I, II и III, расчетная схема СКВ представлена на рис. 5.

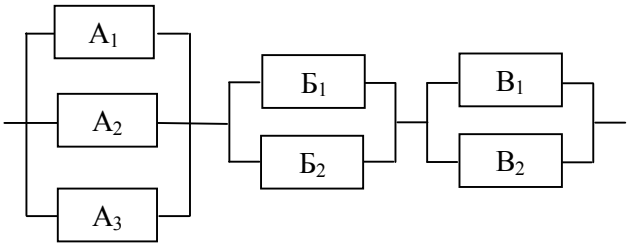


Рис. 5. Расчетная схема СКВ Ту-154 М

На схеме, приведенной на рис. 5, элементы *А* имеют значения вероятности отказа системы из последовательно соединенных агрегатов под номерами 1–5 (рис. 4), элементы *Б* – агрегатов под номерами 6–10, и элементы *В* – агрегатов под номерами 11–15. Таким образом, расчет СКВ сведен к расчету системы с индивидуальным резервированием. Как показано выше, задача расчета такой системы не может быть решена с использованием традиционного методологического подхода, использующего теорему умножения вероятностей. При ее решении необходимо учитывать возможные сценарии развития процесса отказов агрегатов.

Если в системе СКВ положить параметры элементов *А*, *Б* и *В* равными 1×10^{-5}, что весьма близко к действительности, то вероятность ее отказа, при последовательностях отказов агрегатов будут иметь следующие значения:

– при $Б_1$, $Б_2$ либо B_1, B_2 – $Q_{ал}(Б_2/Б_1) = Q_{ал}(B_2/B_1) = 9,5\times10^{-10}$;

– $Б_1, B_1, Б_2$ – $Q_{ал}(Б_2/Б_1B_2) = 1,9\times10^{-14}$;

– A_1, A_2, A_3 – $Q_{ал}(A_3/A_1A_2) = 2,2\times10^{-14}$;

– традиционном подходе с использованием теоремы умножения вероятностей – $Q_{тр} = 8\times10^{-10}$.

В заключение следует отметить, что принципиальным отличием предлагаемого подхода к расчету надежности систем, учитывающего возможные сценарии развития отказов в системах с индивидуальным резервированием, является уменьшение вероятности отказа систем по мере увеличения числа последовательно соединенных блоков с индивидуальными резервированными агрегатами. При традиционном подходе к расчету надежности рассматриваемых систем увеличение числа последовательно соединенных блоков с резервированными агрегатами приводит к возрастанию вероятности отказа систем, что, как показано в работе, не соответствует действительности.

Библиографические ссылки

1. Венцель Е. С. Теория вероятности. М. : Физмат, 1962. 563 с.

2. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория Вероятностей и ее инженерные приложения. М. : Наука, 1988.

3. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Математические модели и методы расчета схемной надежности функциональных систем самолетов ГА // Вестник СибГАУ. Вып. 20. 2008. С. 78–82.

4. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Методологические особенности расчетов надежности функциональных систем самолетов гражданской авиации // Вестник СибГАУ. Вып. 17. 2007. С. 120–125.

5. Бойко О. Г. Анализ традиционного и разработка альтернативного методологического подхода к расчету надежности сложных систем // Наука и технологии. Итоги диссертационных иследований. Т 1. Избранные труды Российской школы. М. : РАН, 2009. С. 326–36.

6. АП-25. Авиационные правила. Нормы летной годности. М. : МАК, 1994.

O. G. Boyko, L. G. Shaimardanov

RELIABILITY CALCULATION SPECIALTIES FOR SYSTEMS WITH INDIVIDUAL RESERVING

The possibility of development of the method of reliability calculation for systems with individual reserving is considered. This method differs from the traditional. It takes into account the possibility of realization in the system of breakdown development.

Keywords: complex systems, security analysis.

© Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г., 2010

УДК 629.78.017.1

В. Е. Патраев, И. В. Трифанов

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Представлен анализ и оценка основных показателей качества и надежности современных отечественных космических аппаратов связи. Даны рекомендации по повышению надежности при эксплуатации на основе повышения требований к электрорадиоизделиям КА длительного функционирования.

Ключевые слова: космический аппарат, надежность, срок активного существования, электрорадиоизделия.

В связи с рядом отказов и существенных неисправностей, отмеченных с 1997 г. на ряде современных зарубежных космических аппаратов (КА), аналитики считают, что нерешенные проблемы надежности являются реальным фактором, влияющим на развитие спутниковой отрасли. В проведенном компанией Frost&Sullivan [1] анализе отказов в модулях всех запущенных КА, созданных на базе спутниковых платформ (табл. 1) определены платформы с лучшими показателями надежности, а также делается заключение, что отказы отмечены преимущественно в конструкциях платформ, а не полезных грузов.

По оценкам Futron Corp. за период с 1996 по 2008 гг. на 43 эксплуатируемых спутниках отмечено 47 существенных неисправностей и отказов, при этом 74 % из них произошли за последние 5 лет. Отмечается, что по общей статистике только 25 % неисправностей в последнее время приходится на полезную нагрузку, а остальные отказы относятся к спутниковым платформам, которые, как правило, являются унифицированными или рекуррентными с других программ т. е. более отработанными, при этом новые по характеру неисправности во многом связаны как с повышением энерговооруженности отдельных каналов связи, так и всего спутника в целом, а также усложнением бортовых систем и электроники.

Анализ показателей качества отечественных КА связи. Проблемы надежности зарубежных КА при эксплуатации могут, видимо, частично коррелироваться с подобными проблемами современных космических аппаратов отечественной разработки.

В [2; 3] рассмотрены некоторые статистические срезы, характеризующие качество и вытекающие из сравнительного анализа неисправностей КА связи типа «Экспресс-А», «Экспресс-АМ», условно относящихся к одному модельному ряду КА-аналогов герметичного исполнения разработки ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Технические характеристики и наработки данных космических аппаратов приведены в табл. 2.

Проведеный анализ количества неисправностей на один КА при эксплуатации по признакам деления показывает, что превалируют неисправности КА, либо не классифицированные, либо связанные с отказами электрорадиоизделий (ЭРИ).

Таблица 1

Отказы зарубежных КА связи в период 1998–2001 гг.

Наименование спутниковой платформы	Фирма-изготовитель	Запущенные спутники	Количество отказов и получение страховки	Процент отказов
BSS-376	Boeng	55	6	11
A-2100	Lockheed Martin	23	3	13
LS-1300	Space System Loral	41	8	20
BSS-601	Boeng	62	14	23
Spacebus 3000	Alcatel	18	5	28
Eurustar E2000	EADS Astrium	19	6	32
BSS-702	Boeng	8	6	75

Таблица 2

Технические характеристики и наработки космических аппаратов

Индекс КА и номер	Дата пуска	Гарантийный срок активного существования (ресурс), лет	САС фактические, мес.			
			на 01.12.06	на 01.12.07	на 01.12.08	на 01.12.09
Экспресс-А № 2	12.03.00	5 (7)	81,7	93,7	105,7	117,7
Экспресс-А № 3	24.06.00	5 (7)	78,2	90,2	102,2	114,2
Экспресс-А № 4	10.06.02	5 (7)	54,4	66,4	78,4	90, 4
ЭкспрессАМ № 22	29.12.03	10,25 (12)	35,5	47,5	59,5	71,5
Экспресс-АМ № 1	30.10.04	«–»	25,3	37,3	49,3	61,3
Экспресс-АМ № 2	30.03.05	«–»	20,2	32,2	44,2	56,2
Экспресс-АМ № 3	24.06.05	«–»	17,4	29,4	41,4	53,4
Экспресс-АМ № 33	28.01.08	«–»	0	0	9,3	21,3

Отказы полезной нагрузки в КА «Экспресс-А» и «Экспресс-АМ» составляют 7 и 23 % от общего количества выявленных неисправностей [3]. Их количество на КА «Экспресс-АМ» сравнимо с зарубежными КА (25 %).

Введем коэффициентные показатели качества КА определенных серий A_i, сравнение которых могло бы характеризовать динамику качества условных КА-аналогов различных серий с учетом наработок:

$$A_i = \frac{R_{i_\Sigma}}{T_{i_\Sigma}} \text{ или } A_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} r_{j_i} T_{AC_i}}{\sum_{j=1}^{n} t_{j_i}},$$

где R_{i_Σ} – суммарное количество неисправностей по признакам деления на один КА i-ой серии; T_{i_Σ} – суммарное количество отработанных нормативных гарантийных сроков активного существования (ГСАС) или сроков службы всеми КА i-ой серии; r_{ji} – количество неисправностей по признаку деления j на один КА i-ой серии (табл. 3); t_{ji} – наработка j-ой КА i-ой серии на момент оценки; n – количество КА i-ой серии на момент оценки; T_{AC_i} – гарантийный срок активного существования (ГСАС) КА i-ой серии.

Сравнительный анализ качества некоторых современных космических аппаратов по показателю свидетельствует, что по данному показателю КА серии «Экспресс-АМ» пока уступают условным КА-аналогам «Экспресс-А», которые уже выработали свои гарантийные сроки активного существования, однако динамика «улучшения» данного показателя с ростом наработок выше у КА «Экспресс-АМ». Прогнозная оценка показывает, что при достижении данными КА, требуемых ГСАС, показатель (отношение суммарного количества неисправностей по признакам деления на один КА i-ой серии к количеству отработанных ГСАС всеми КА i-ой серии будет ниже у КА «Экспресс-АМ», т. е. качество КА серии «Экспресс-АМ» выше, чем у КА серии «Экспресс-А» [3].

Анализ показателей эксплуатационной надежности. Рассмотрим расчетные значения ряда основных показателей эксплуатационной надежности в виде вероятности безотказной работы (ВБР) за ГСАС, средних сроков активного существования (САС) до закрытия и первого ограничения в работе рассматриваемых КА для различных уровней доверительных вероятностей на 01.12.09 (табл. 3). Для оценки показателей надежности КА по текущим наработкам использована программа расчета, основанная на условном плане испытаний [N, U, z] цензурированных выборок [4], где N – объем выборки изделий (КА), предназначенных для испытаний; U – планы испытаний, в которых отказавшие изделия не заменяются и не восстанавливаются; z – признак окончания испытаний (наработка z_i каждого изделия), $z_i = \min(t_i, \tau_i)$, $i = \overline{1, N}$, где t_i – наработка до отказа i-ого КА (его бортовой аппаратуры); τ_i – наработка i-ого КА (его БА) до момента проведения оценки (цензурирования) и объем статистики по рассматриваемым КА. При расчете статистических показателей надежности КА «Экспресс-А» использованы дополнительные данные по общим лидерным наработкам на момент закрытия условных КА-аналогов «Экспресс» и «Галс».

Расчетные показатели эксплуатационной надежности КА «Экспресс-АМ», которые еще не выработали свой ГСАС, лучше аналогичных показателей КА «Экспресс-А» и с ростом наработок ожидается их дальнейший рост. Они демонстрируют не только обеспечение требуемых по ТУ на КА показателей надежности, но и динамику их роста, что в первую очередь свидетельствует о высоких ресурсных возможностях соответствующих платформ КА.

Общие статистические данные по разным КА позволяют сделать вывод о целесообразности комплектации перспективных КА импортной полезной нагрузкой, а также модулей служебных систем отдельной аппаратурой зарубежной разработки, что позволит, в совокупности с высокими ресурсными возможностями отечественных перспективных базовых платформ негерметичного исполнения («Экспресс-1000» и модификаций, «Экспресс-2000» и др.) разработки ОАО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева», создавать конкурентоспособные КА.

Сравнительный анализ количества классифицированных отказов ЭРИ при эксплуатации современных КА типа «Экспресс-АМ», при производстве которых полностью внедрена система дополнительных испытаний партий ЭРИ, предназначенных для комплектации в летные образцы аппаратуры (отбраковочные испытания, диагностический неразрушающий контроль, выборочный разрушающий анализ) [5; 6] с более ранними КА разработки ОАО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева», типа «Горизонт», эксплуатация которых началась с 1980 г., по-

Таблица 3

Показатели эксплуатационной надежности космических аппаратов

Индекс КА	Гарантийный СА, мес.	Требуемая ВБР за ГСАС	Доверительная вероятность	Точечное значение ВБР за ГСАС	Нижняя доверительная граница ВБР за ГСАС	Общий средний САС до закрытия, мес.	Нижняя доверительная граница среднего САС до закрытия, мес.	Средний САС до первого ограничения, мес.	Нижняя доверительная граница среднего САС до первого ограничения, мес.
Экспресс-А	60	0,63	0,8	0,877551	0,64939	95,721428	90,903869	50,25	33,927125
Экспресс-А	60	0,63	0,9	0,877551	0,565119	95,721428	88,392102	50,25	25,416742
Экспресс-АМ	123	0,7	0,8	0,91701	0,79331	61,74	47,641823	61,74	47,641823
Экспресс-АМ	123	0,7	0,9	0,91701	0,71768	61,74	40,291349	61,74	40,291349

казывает, что доля классифицированных отказов ЭРИ на некоторых типах современных КА не падает, что связано с частными случаями комплектования КА партиями ЭРИ недостаточного качества, недостаточно совершенными объемами дополнительных испытаний и общими проблемами электронной компонентной базы.

Обеспечение качества и требуемой эксплуатационной надежности современных отечественных КА-проблема многоплановая. Анализ эксплуатационной надежности современных отечественных КА показал, что по признакам деления превалируют отказы ЭРИ, устранить которые полностью не удается даже с помощью дополнительных процедур обеспечения качества ЭРИ, и не классифицированные по признакам деления отказы и неисправности (в основном производственного происхождения) по причине невозможности однозначного установления причин их появления из-за недостаточности объема телеметрической информации, используемой для анализа технического состояния КА.

Для перспективных КА, находящихся в разработке, выявлена необходимость решения ряда задач. По результатам опыта работы ОАО «ИСС» имени М. Ф. Решетнева» к ним можно отнести следующие:

– комплектование бортовой аппаратуры КА отечественными перспективными квалифицированными ЭРИ повышенной надежности, изготавливаемыми в соответствии с Российскими нормативными требованиями;

– комплектование бортовой аппаратуры КА ЭРИ иностранного производства только космического или близкого к нему уровня качества, изготавливаемыми по требованиям, контролируемым иностранными национальными космическими агентствами;

– разработку более эффективных программ и методик дополнительных испытаний партий ЭРИ отечественного изготовления в испытательных технических центрах;

– совершенствование комплекса отраслевых нормативных документов, регламентирующих приобретение и применение электронной компонентной базы в КА длительного функционирования;

– необходимость проведения более раннего и глубокого анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) бортовой аппаратуры на этапах проектирования с целью разработки более эффективной программы их контроля и определения достаточности диагностики для наиболее критичных узлов и блоков бортовой аппаратуры;

– разработку более эффективных, информативных и достоверных методов испытаний, контроля надежности бортовой аппаратуры перспективных КА, норм отработочных и приемочных испытаний бортовой аппаратуры, в особенности для КА негерметичного исполнения, включая увеличение количества термоциклов и термовакуумных циклов при наземной экспериментальной отработке и приемке;

– разработку более жесткой программы контроля качества КА и составных частей при изготовлении в целях снижения производственных отказов и отказов ЭРИ при эксплуатации и повышении эффективности системы и конкретных процедур гарантирования качества изготовления бортовой аппаратуры на заводах изготовителях;

– разработку метода технически обоснованного назначения продолжительности и режимов электротермотренировки (ЭТТ) бортовой аппаратуры при изготовлении в целях получения, после их завершения, приемлемого показателя надежности в виде интенсивности отказов, обеспечивающей требуемую вероятность безотказной работы КА на конец нормативного САС.

Таким образом, по результатам анализа показателей качества и эксплуатационной надежности, а также проблем обеспечения надежности современных отечественных и зарубежных КА можно сделать вывод о их коррелированности и необходимости решения ряда задач, обеспечивающих эксплуатационную надежность, эффективность и конкурентоспособность перспективных отечественных КА длительного функционирования (12–15 лет).

Библиографические ссылки

1. О надежности спутниковых платформ // Ракетная и космическая техника. М., 2004. № 44. С. 6–8.

2. Анализ технического состояния и оценка уровня фактической надежности, а также готовности к целевому использованию КА связи и вещания народно-хозяйственного назначения по результатам эксплуатации в 2008 г. Анализ динамики изменения показателей надежности за период с 1994 по 2008 г. : отчет по ОКР ; рук. Роскин С. М. ; исполн.: Патраев В. Е. [и др.] ; ОАО «ИСС». Железногорск. 2008. 182 с. № 510-6298-08.

3. Анализ технического состояния и оценка уровня фактической надежности, а также готовности к целевому использованию КА серий «Горизонт», «Экран-М», «Экспресс», «Гонец» по результатам эксплуатации в 2009 г. Анализ динамики изменения показателей надежности за период с 1994 по 2009 г. : отчет по ОКР ; рук. Роскин С. М. ; исполн.: Патраев В. Е. [и др.] ; ОАО «ИСС». Железногорск. 2009. 199 с. № 510-6586-09

4. Патраев В. Е., Вовченко С. П. Оценка эксплуатационной надежности космических аппаратов связи и телевещания разработки НПО ПМ // Двойные технологии. М., 2004. № 3. С. 64–66.

5. Федосов В. В., Патраев В. Е. Повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов при применении электрорадиоизделий, прошедших дополнительные отбраковочные испытания в специализированных испытательных технических центрах // Авиакосмическое приборостроение. М., 2006. № 10. С. 50–55.

6. Федосов В. В., Патраев В. Е. Оценка влияния разрушающего физического анализа на характеристики безотказности изделий микроэлектроники, устанавливаемых в бортовую аппаратуру космических аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. М., 2008. № 1. С. 37–40.

V. E. Patraev, I. V. Trifanov

MODERN SPACECRAFTS OPERATIONAL RELIABILITY AND QUALITY ANALYSIS

Research work proposes and considers the main quality and operational reliability characteristics of modern Russian communication spacecrafts. Some recommendations for increase of operational reliability of long-term operation spacecrafts, with account of severization of requirements, are given.

Keywords: spacecraft, reliability, lifetime of EEE-parts.

© Патраев В. Е., Трифанов И. В., 2010

УДК 629.735.064

О. Г. Бойко

О ПРАВОМЕРНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСЛОВНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ И УСЛОВНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОТКАЗОВ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ

Обсуждаются процедуры определения условных вероятностей безотказной работы, условных плотностей вероятностей отказов и правомерность их использования в математических моделях надежности агрегатов авиационных систем.

Ключевые слова: вероятность, условная вероятность, условная плотность вероятности, агрегат, математическая модель.

В расчетах надежности сложных технических систем в авиации и других критических по надежности отраслях промышленности, при моделировании надежности агрегатов, для определения вероятности безотказной работы используется экспоненциальное распределение

$$p(t) = e^{-\omega t}, \qquad (1)$$

где ω – параметр потока отказов агрегата, который определяется по плану испытаний [1] восстанавливаемых агрегатов и равен среднему значению числа отказов в единицу времени (в 1 час). При достаточно большой статистике среднее значение стремится к математическому ожиданию и параметру потока отказов w допустимо придать этот статус.

Вследствие процедур, предусмотренных при техническом обслуживании авиационной техники, параметры потоков отказов агрегатов систем самолетов поддерживаются на постоянном уровне [2]. Более того, верхние пределы параметров потоков отказов ограничиваются нормативными документами гражданской авиации в виде нормативных значений коэффициентов K_{1000} для самолетов российского производства и K_{100} – иностранного производства. Коэффициент K_{1000} является числом отказов агрегатов определенного типа, приходящемся на 1 000 часов полета и, таким образом, однозначно связан с параметром потока отказов.

Экспоненциальная модель вероятности отказа агрегата, который представляет собой монотонно возрастающую функцию времени (рис. 1):

$$q(t) = 1 - e^{-\omega t}. \qquad (2)$$

В гражданской авиации, в соответствии с Нормами летной годности самолетов [3], вероятность отказа агрегатов и систем нормируется в вероятностях отказа за 1 час, приводящих к последствиям различной степени тяжести. Поскольку 1 час является величиной 3–4-го порядка малости по сравнению с налетом самолета, то вероятность отказа за 1 час $q(1)$ может быть определена в виде производной от (2) следующим образом:

$$q(1) = \omega \cdot e^{-\omega t}. \qquad (3)$$

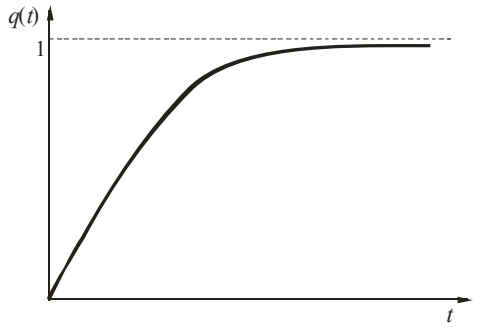


Рис. 1. Экспоненциальная модель вероятности отказа агрегата

График этой зависимости приведен на рис. 2. Уменьшение вероятности отказа за 1 час в функции времени работы агрегата противоречит, во-первых, независимости математического ожидания числа отказов за 1 час, равных ω, от времени работы агрегата; во-вторых, здравому смыслу, поскольку в процессе работы в агрегате неизбежно развиваются деградационные процессы, и вероятность отказа за 1 час никак не может уменьшаться. На практике ее можно поддерживать техническим обслуживанием на некотором уровне.

Впервые вопросы неадекватности экспоненциальной модели действительным процессам изменения надежности агрегатов поставлены в работах [4; 5].

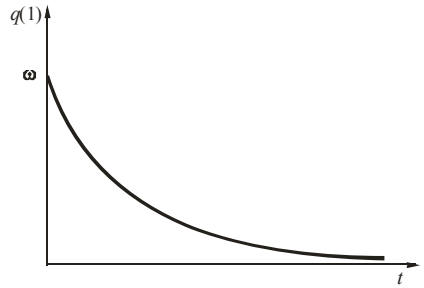


Рис. 2. Вероятность отказа за 1 час полета при экспоненциальной модели

Таким образом, целесообразно рассмотреть процедуры построения математических моделей, представленных экспоненциальным распределением, основанных на использовании условных вероятностей и условных плотностей вероятностей, которые применяются как в учебной [6; 7], так и научной литературе [8].

Математические модели агрегатов в теории надежности представлены в форме интегральных функций вероятностей безотказной работы $p(t)$, вероятности отказов $q(t)$ и их плотностей вероятностей (дифференциальных функций) $f(t)$.

Во многих отечественных источниках в области надежности условная вероятность безотказной работы на отрезке времени $[t_a; t_b]$, $(t_b > t_a)$ определена, как вероятность безотказной работы на момент t_b, если до момента времени t_a отказа не было, и имеет вид

$$p(t_b / t_a) = \frac{p(t_b)}{p(t_a)}. \quad (4)$$

Однако, в приведенном виде формулировка не соответствует выражению (4), поскольку, если до момента t_a отказа не было, то вероятность безотказной работы на участке $[0; t_a]$ $p(t_a) = 1$. В работе [8] дана более корректная формулировка, в которой отсутствие отказа до момента времени t_a определено с некоторой вероятностью $p(t_a)$.

Выражение (4) в соответствии с [6] получено из следующих соображений. Событие A определяет безотказную работу агрегата за время $[0; t_a]$, а событие B – безотказную работу за $[0; t_b]$. Тогда вероятность совместного события $A \cdot B$ имеет вид

$$p(A \cdot B) = p(A) \cdot p(B / A), \quad (5)$$

т. е. равна произведению вероятности события A на условную вероятность события B при условии, что A произошло. В связи с этим в [6] принято, что событие A поглощается событием B (т. е. если произошло событие B, то произошло и событие A). Следовательно, вместо (5) можно записать:

$$p(B) = p(A) \cdot p(B / A). \quad (6)$$

Переходя от событий ко времени t_a и t_b, получим

$$p(t_b) = p(t_a) \cdot p(t_b / t_a), \quad (7)$$

отсюда условную вероятность

$$p(t_b / t_a) = \frac{p(t_b)}{p(t_a)}. \quad (8)$$

Некорректность приведенного из [6] рассуждения состоит в том, что события A и B приняты как определяющие безотказную работу за время от 0 до t_a и от 0 до t_b соответственно, но не определено с какими вероятностями. Выражение (6) получено в предположении, что произошло событие B и событие A. В случае если вероятность безотказной работы $p(t_b) \neq 1$, то событие B не обязательно является поглощающим для события A. Но если имели место события безотказной работы при изменении времени от 0 до t_a и от 0 до t_b, то вероятности их реализации $p(B) = p(A) = p(t_b) = p(t_a) = 1$. Тогда, неясно, что обозначают выражения (6)–(8).

Есть еще один аспект этой проблемы. Интегральная функция вероятности безотказной работы агрегата $p(t)$, для которой определяется условная вероятность $p(t_b/t_a)$ строится по результатам испытаний большой группы однотипных агрегатов. Одни из них отказывают при меньших значениях времени, другие – при больших. Время, при котором агрегаты отказывали, определяется только их собственными свойствами. Поэтому на количество и вероятность отказа агрегатов на отрезке $t_a < \tau < t_b$ не может повлиять количество и вероятность отказа агрегатов при $t < t_a$. В этом и состоит условие отсутствия последействия в потоке отказов вследствие независимости событий отказов агрегатов. Выполнение этого условия исключает возможность определения условных вероятностей.

В теории вероятностей [9; 10] вероятность реализации события на отрезке $t_a < \tau < t_b$, например, вероятность отказа определена как приращение интегральной функции на этом отрезке

$$q(\tau) = q(t_b) - q(t_a). \quad (9)$$

Это выражение также определенным образом учитывает условие реализации отказа на отрезке τ, поскольку учитывает возможность отказа при всех $t < t_a$ с вероятностью $q(t_a)$, но без нарушения условия отсутствия последействия.

Поскольку вероятность отказа $q(t) = 1 - p(t)$, перепишем (9) в вероятностях безотказной работы

$$p(\tau) = 1 + p(t_b) - p(t_a). \quad (10)$$

Сравним значения вероятностей безотказной работы на отрезке τ, определенные по выражениям (8) и (10). Поскольку эти выражения справедливы для любых законов распределения вероятностей безотказной работы, для простоты и наглядности примем распределение с равномерной плотностью вероятности, при котором

$$p(t) = 1 - \omega t. \quad (11)$$

Подставив (11) в (10), найдем уравнение

$$p(\tau) = 1 - \omega\tau = \text{const}, \quad (12)$$

которая не зависит от положения отрезка τ на оси времени t.

Применив (11) к (8), получим выражение

$$p(t_b / t_a) = p(\tau) = \frac{1 - \omega(t_a + \tau)}{1 - \omega t_a}. \quad (13)$$

Характер изменения $p(t_b / t_a)$ для $\omega = 0{,}1$ и $\tau = 1$ показан на рис. 3. Отсюда следует, что условная вероятность безотказной работы на отрезке t фиксированной длины существенно нелинейна, что, при постоянной плотности вероятности отказа, представляется не оправданным.

В традиционной теории надежности особое значение отводится условной плотности вероятности отказов, которая определяется как плотность вероятности отказа в

моменты времени $t \geq t_1$, при условии, что до момента t_1 отказа не было.

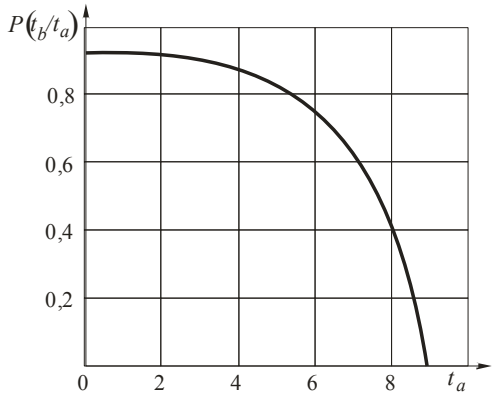


Рис. 3. Зависимость условной вероятности отказа от координаты начала участка t_a при ω = 0,1 и τ = 1

Рассмотрим рассуждения, определяющие правомерность условной плотности вероятности отказа, приведенные в [6]. Предполагается, что агрегат проработал время t_1 и в момент времени t_1 остался работоспособным, т. е. отказа нет (рис. 4).

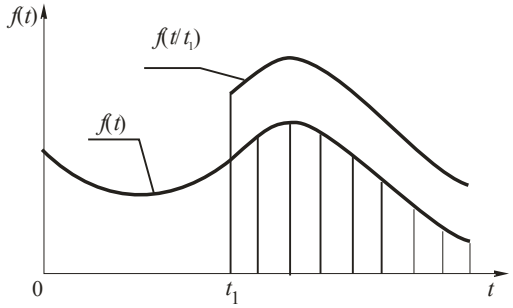


Рис. 4. Плотность вероятности и условная плотность вероятности отказа агрегата

За оставшееся время $t > t_1$ агрегат должен отказать, т. е. отказать с вероятностью равной единице. Следовательно, площадь под кривой плотности вероятности $f(t)$, расположенная правее t_1, численно должна быть равна единице. Чтобы выполнялось это условие, все ординаты плотности $f(t)$, лежащие правее t_1, авторами предложено разделить на нормирующее число, равное значению площади $f(t)$ на интервале от t_1 до ∞, т. е. само на себя. Поскольку

$$\int_{t_1}^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_{0}^{t_1} f(t)\,dt = 1 - q(t_1) = p(t_1), \qquad (14)$$

то

$$f(t/t_1) = \frac{f(t)}{p(t_1)}. \qquad (15)$$

Против такой формы определения условной плотности вероятности следует высказать ряд возражений:

– во-первых, рассматривается вероятностная задача (в вероятностной трактовке) и в ней по определяющей функции (вероятности отказа) вносится детерминистическая трактовка. Предполагается, что при всех $t < t_1$, отказа не было с вероятностью, равной единице, а положение t_1 на оси времени никак не ограничено;

– во-вторых, плотность вероятности отказа для отдельного агрегата определяется из статистики испытаний большой группы таких агрегатов и является распределением, ординаты которого определены из опыта и не подлежат изменению даже при необходимости формирования условной плотности;

– в-третьих, как и при определении условной вероятности безотказной работы проигнорирован принцип отсутствия последействия;

– в-четвертых, в теории вероятностей [9] определение условных вероятностей и условных плотностей вероятностей предусматривает наличие системы двух зависимых случайных величин.

В рассматриваемом случае случайная величина одна – вероятность безотказной работы. Вероятность отказа – величина противоположная ей.

При построении условной плотности вероятности в соответствии с рассмотренной процедурой предлагается ординаты правее точки t_1 увеличить, используя нормирующий множитель, определенный при условии, что до точки t_1 отказов не было. Но экспериментально построенная плотность вероятности содержит статистическую информацию о том, что до точки t_1 отказы были.

Возникает вопрос: на каком основании экспериментально построенная плотность вероятности подвергается трансформации, при которой до точки t_1 ее ординаты приравниваются к 0, а после t_1 – увеличиваются посредством нормирующего множителя? Для теории надежности этот вопрос чрезвычайно важен, поскольку ответ на него характеризует правомерность определения интенсивности отказов $\lambda(t)$ и последующего построения математической модели вероятности безотказной работы агрегатов в виде экспоненциального распределения.

В работах по надежности [6–8] интенсивность отказов $\lambda(t)$ определяется как мгновенная условная плотность вероятности отказов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}. \qquad (16)$$

Здесь плотность вероятности отказов $f(t)$ при каждом текущем значении t умножается на тот же, что и в выражении (13), нормирующий множитель $1/p(t)$, определенный на рассматриваемый момент времени, а ограничения на вид распределения $p(t)$ не наложены.

При стационарном пуассоновском потоке отказов математическое ожидание числа отказов в единицу времени w остается постоянным, а при использовании распределения с равномерной плотностью вероятности, когда $q(t) = \omega \cdot t$, $f(t) = q'(t)$, численно равно ω, тогда

$$\lambda(t) = \frac{\omega}{1 - \omega t}. \qquad (17)$$

Из (17) очевидно, что при стационарном потоке отказов $\lambda(t)$ не является постоянной величиной и не может быть равна w. Вместе с этим в [8] отмечается, что простой способ определения постоянной интенсивности отказов λ заключается в поддержании постоянным числа агрегатов в процессе испытаний, путем замены отказавших. Но эта процедура испытаний известна как план испытаний восстанавливаемых агрегатов, при котором определяется параметр потока отказов ω, использованный нами в выражении (17).

Кроме того, в [8] отмечается, что в случае, когда отказы происходят в случайные моменты времени, и среднее

число отказов на равных отрезках времени не зависит от их положения на оси времени, надежность устройства определяется хорошо известной экспоненциальной зависимостью (1). Это утверждение исключает возможность определения условной плотности вероятности в виде выражения (15) и (16), из которых экспоненциальное распределение и получено. Вместе с этим, независимость числа отказов от положения отрезка на оси времени указывает на тот факт, что отказы распределены с равномерной плотностью вероятности.

Смысловое содержание таких определений, как интегральная функция вероятности отказа $q(t)$, плотность вероятности отказа $f(t)$, параметр потока отказов w, вполне понятно. Каков смысл понятия интенсивности отказов $\lambda(t)$? Для чего понадобилось увеличивать в $1/p(t)$ раз значения плотности вероятностей отказов $f(t)$, полученные из статистических материалов?

Из выражения (16) после замены в нем $f(t)$ на $dp(t)/dt$, разделения переменных и интегрирования, получают показательное распределение вероятности безотказной работы:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}. \qquad (18)$$

Предполагается, что в случае стационарного процесса $\lambda = \text{const}$, выражение (18) приобретает вид экспоненциального распределения

$$p(t) = e^{-\lambda t}. \qquad (19)$$

Поскольку в исходном выражении (16) ограничения на вид функций $f(t)$ и $p(t)$ не наложены, то при произвольных законах распределения $f(t)$ и $p(t)$ интенсивность $\lambda(t)$ постоянной быть не может.

Выражение (16) обращается в тождество $\lambda(t) = 1$ только при подстановке $p(t)$ в виде (19) и $f(t)$ в виде производной от нее. Но это и естественно, поскольку (19) получено из выражения (16).

При замене в (18) $\lambda(t)$ на (16) и использовании в (16) распределения с равномерной плотностью вероятности, найдем

$$p(t) = e^{-\int_0^t \frac{\omega}{1-\omega\tau}d\tau}. \qquad (20)$$

Результаты расчета $p(t)$, выполненные по выражению (20), показанные пунктирной линией *2*, и по интегральной функции вероятности безотказной работы, соответствующей распределению с равномерной плотностью $p(t) = 1 - \omega t$, при $\omega = 0{,}1$, приведены на рис. 5. Расхождения результатов очевидны.

Приведенные рассуждения дают основания для сомнений как в правомерности построения экспоненциальной модели надежности агрегатов, так и в возможности ее использования в расчетах надежности, а также убеждают в неправомерности использования условных вероятностей и условных плотностей в математических моделях надежности агрегатов.

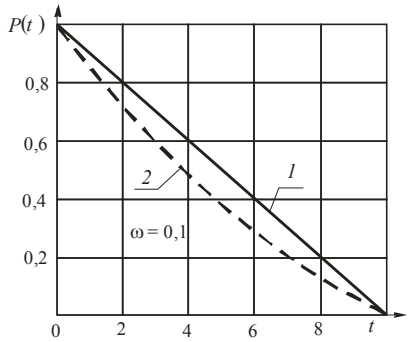


Рис. 5. Зависимость вероятности отказа определенной по выражению: $1 - p(t) = 1 - \omega t$; $2 - \ p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}$

Библиографические ссылки

1. ГОСТ 27.503–87. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Методы оценки показателей надежности. М. : Изд-во стандартов, 1987.

2. Анализ влияния надежности авиационной техники на безопасности полетов за 2006 г. Минтранс России. М., 2006.

3. АП-25. Авиационные правила. Нормы летной годности самолетов. М. : МАК, 1994.

4. Бойко О. Г. Анализ традиционного и разработка альтернативного методологического подхода к расчету надежности сложных систем // Наука и технологии. Итоги диссертационных исследований. Т. 1. Избранные труды Российской школы. М. : РАН, 2009. С. 226–236.

5. Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Математические модели и методы расчета надежности сложных систем // Вопросы современной науки и практики. Журнал университета им. В. И. Вернадского. Вып. 8(22). Тамбов, 2009. С. 64–72.

6. Воробьев В. Г., Константинов В. Г. Надежность и эффективность авиационного оборудования. М. : Транспорт, 1995.

7. Сугак Е. В., Василенко Н. В., Назаров Г. Г. Надежность технических систем. Красноярск : МПГ «Раско». 2001.

8. Базовский И. Надежность. Теория и практика : пер. с англ. М. : Мир, 1965.

9. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М. : Наука, 1988.

10. Венцель Е. С. Теория вероятности. М. : Физмат, 1962.

O. G. Boyko

ABOUT LEGITIMACY OF USAGE OF AGREED PROBABILITIES OF FAILURE-FREE WORK AND AGREED BREAKDOWNS PROBABILITIES DENSITIES IN AGGREGATES RELIABILITY MATHEMATICAL MODELS

The procedures of determination of conditional probabilities of failure-free work, breakdowns conditional probabilities densities and legitimacy of their usage in aggregates reliability mathematical models are discussed in the article.

Keywords: probability, agreed probability, conditional probability density, aggregate, mathematical model.

© Бойко О. Г., 2010

УДК 621.791.72

А. Г. Верхогляд, М. Ф. Ступак, Ю. В. Чугуй

ЛАЗЕРНОЕ МИКРОПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Приведено краткое описание основных технических решений и экспериментальные результаты апробирования лазерного технологического комплекса. Погрешность измерения в старт-стопном режиме не превышает 2 мкм, погрешность обработки при движении исполнительного элемента по произвольному непрерывному контуру не более 20 мкм. Рабочая скорость при микропрофилировании поверхности составляет более 9 м/мин. Время непрерывной работы в автоматическом режиме достигает более 15 часов в диапазоне температур от +18 до +30 С°.

Ключевые слова: лазерный технологический комплекс, лазерная обработка объемных изделий, резка, сварка, абляция, измерение геометрии трехмерных объектов.

Развитие средств связи и глобальных навигационных систем требует разработки технологии создания большеразмерных (диаметром в несколько метров) прочных антенн с заданной диаграммой направленности. Одной из наиболее перспективных технологий синтеза таких антенн является технология нанесения на заранее сформированную поверхность из углепластика тонкой металлической пленки с последующим ее удалением в соответствии с заранее рассчитанной конфигурацией. Эта технология требует прецизионной (для антенн миллиметрового диапазона сформированная картина должна отличаться от расчетной не более чем на несколько десятков микрон по всему полю антенны) аппаратуры для удаления металлической пленки в соответствии с рассчитанной топологией. Одной из возможностей формирования заданной топологии является использование многокоординатного лазерного технологического комплекса (ЛТК), оснащенного мощным импульсным лазером [1]. В ходе выполнения данной работы ставилась задача разработать и изготовить прецизионный многофункциональный лазерный комплекс для обработки трехмерных изделий произвольной формы и технологический лазер для реализации процесса абляции. Виды выполняемых комплексом технологических операций следующие: резка изделий из металлов толщиной до 6 мм, сварка металлических изделий толщиной до 2 мм и микропрофилирование поверхности с использованием процесса абляции (испарение без перевода в жидкую фазу). Размер обрабатываемых изделий может достигать $3000 \times 3000 \times 600$ мм^3, при характерном размере единичного элемента микропрофиля не более $0{,}5 \times 0{,}5$ мм^2 и отклонении положения синтезированного элемента, от заданного, менее 20 мкм в любой точке обрабатываемой поверхности.

Требования к технологическому лазеру ЛТК. Размер пятна лазерного излучения на поверхности обрабатываемого изделия выбирается равным размеру минимального элемента рассчитываемой топологии профиля поверхности. Пятно на обрабатываемой поверхности имеет форму квадрата со стороной 0,5 мм. Исходя из того, что пленка металла по всей площади пятна должна полностью испаряться в результате воздействия одного импульса, можно найти нижнюю границу значения энергии лазерного импульса:

$$W_{\text{имп}} \geq S_{\text{о}} \times L_{\text{пл}} \times \rho \times (C_{\rho} \times \Delta T + r_{\rho} + q_{\rho}) / (1 - R),$$

где $S_{\text{о}}$ – площадь лазерного луча на обрабатываемой поверхности; $L_{\text{пл}}$ – толщина испаряемого материала; ρ – плотность материала; R – коэффициент отражения обрабатываемой поверхности; ΔT – изменение температуры испаряемого материала (фактически температура кипения испаряемой пленки); C_{ρ}, r_{ρ}, q_{ρ} – удельная теплоемкость, удельная теплота парообразования и удельная теплота плавления материала пленки соответственно.

Величина R меняется в процессе взаимодействия материала с лазерным излучением, и при проведении оценок принята равной 0,8.

Выбрав в качестве материала *Al* и подставив соответствующие значения величин, получим $W_{\text{имп}} \geq 15$ мДж. Длительность импульса определяется из условия равенства толщины нагреваемого материала, за время действия импульса и толщины пленки на поверхности подложки. Характерное значение коэффициента поглощения излучения для металлических пленок $\delta \geq 10^5$ см$^{-1}$. При толщине испаряемой пленки L даже в несколько микрометров выполняется условие прогрева материала пленки вследствие действия механизма термодиффузии. В этом случае толщина прогрева металла $L_{\text{т}} = (\chi\tau_{\text{и}})^{1/2}$ [2], где χ – коэффициент температуропроводности материала пленки; $\tau_{\text{и}}$ – длительность лазерного импульса. Подставив соответствующие значения величин для алюминия из этого равенства можно найти значение длительности лазерного импульса $\tau_{\text{и}} \sim 10^{-8}$ сек. Из вышеприведенных качественных оценок и определены длительность, энергия и мощность единичного лазерного импульса. Частота следования лазерных импульсов должна обеспечивать достаточную производительность (обработка детали за одну или две смены) ЛТК. В результате этого сформулированы следующие требования к технологическому лазеру:

– длина волны излучения – 0,532 мкм (вторая гармоника) либо 1,064 мкм;

– режим работы – импульсно-периодический;

– частота повторения импульсов – 300 Гц;

– длительность единичного импульса – 10 нсек,

– средняя мощность излучения (на длине волны излучения 0,532 мкм) – 10 Вт;

– модовый состав излучения – основная мода ТЕМ_{00}.

Конструкция технологического лазера. При разработке конструкции излучателя были рассмотрены и экспериментально опробованы несколько схем излучателей. В частности, схема с поляризационно-замкнутым резонатором. Данная схема нечувствительна к вызванному теплом двулучепреломлению, так как деполяризованное излучение в стержне не выбрасывается из резонатора из-

за пространственного разделения ортогонально поляризованных компонентов благодаря поляризаторам. Также исследовалась оптическая схема с поляризационно-связанным резонатором. Основным недостатком этих схем была низкая стабильность параметров единичного импульса (нестабильность параметров достигала 20 %).

В результате исследований была выбрана оптическая схема лазерного излучателя, представленная на рис. 1.

Данный излучатель построен по схеме задающий генератор (ЗГ) – усилитель (УС). Эта схема позволила вписаться в заданные габариты. Резонатор ЗГ образован выпуклым зеркалом *1* (радиус кривизны 1,5 м) и профильным (гауссовым) зеркалом *7* с коэффициентом отражения 50 % в центре зеркала. Модуляция добротности ЗГ осуществляется электрооптическим затвором (ЭОЗ) из кристалла DKDP, помещенного в герметичную кювету с просветленными окнами, и тонкопленочного поляризатора *6*, установленного под углом Брюстера (~56°) к падающему излучению; при этом поляризатор пропускает только «Р» поляризацию излучения (поляризацию перпендикулярную к плоскости). ЭОЗ работает по четвертьволновой схеме на сброс напряжения. Вращатель поляризации *4* 90° из оптически активного кварца частично устраняет термически наведенное двулучепреломление в ЭОЗ и активном элементе *5* или компенсирует одно другим. Активный элемент *5* (как в ЗГ, так и в УС) представляет собой кристалл АИГ:Nd^{3+} размером ∅ 4 × 65 мм с просветленными на длине волны 1,064 мкм торцами. Накачка активных элементов осуществляется лампами ИНП4-5/60. Селекция поперечных мод в ЗГ осуществляется диафрагмой *2* диаметром 2,5 мм и профильным выходным зеркалом *7*. Излучение ЗГ с вертикальной поляризацией с помощью плоского зеркала *8*, плосковогнутой линзы *9*, радиусом кривизны 200 мм и пленочного поляризатора *6* заводится в усилитель, состоящий из двух активных элементов *5*, между которыми находится 90° вращатель поляризации *4*, выполняющий ту же роль, что и в ЗГ (т. е. термически наведенное двулучепреломление одного стержня УС компенсируется таким же двулучепреломлением другого стержня УС). Отрицательная линза *9* и возвратное плотное выпуклое зеркало *1* с радиусом кривизны отражающей поверхности, равным 1 м, позволяет частично компенсировать термически наведенную положительную линзу активных элементов усилителя. Четвертьволновая пластинка *16*, после двух проходов излучения через нее (к плотному зеркалу *1* и обратно), поворачивает поляризацию излучения на 90°, что позволяет излучению после второго прохода по УС пройти через поляризатор *6* и поступить излучение в кристалл КТР размером 6 × 6 × 14 мм^3, в котором происходит преобразование излучению с удвоением частоты при взаимодействии II типа (ое-е). После КТР излучение со и 2со поступает на селектирующее зеркало *11*, пропускающее со к поглотителю в виде конуса с сильно рассеивающей линзой перед ним, а *2* со, отразившись от зеркал *11*, выходит из излучателя через просветленное окно *15*. Так как зеркала *11* отражают примерно 10 % излучения основной частоты (со), то после второго зеркала *11* размещена стеклянная поглощающая пластинка *14* (нейтральный фильтр НС).

Результаты тестирования комплекса LSP-2000. В 2004 г. лазерный технологический комплекс (шифр «LSP-2000») был изготовлен и проведены его испытания. Внешний вид данного ЛТК показан на рис. 2.

Рис. 2. Внешний вид ЛТК LSP-2000

Тестировались метрологические параметры комплекса: контурная точность движения исполнительного элемента, точность и повторяемость его выхода в заданную точку, точность перемещения по отдельным координатам, максимальная скорость перемещения, а также технологические возможности комплекса – возможность обработки различных материалов, выполнение задания по заранее подготовленному чертежу. Результаты тести-

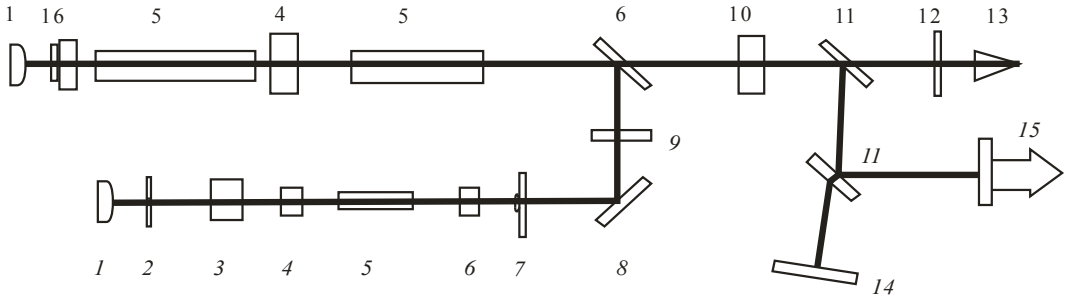


Рис. 1. Оптическая схема лазерного излучателя: *1* – выпуклое зеркало; *2* – диафрагма; *3* – электрооптический модулятор; *4* – 90-вращатель поляризации; *5* – Nd: AYG активный элемент; *6* – поляризатор; *7* – профильное зеркало; *8* – поворотное (селективное – 1,064 мкм) зеркало; *9* – корректирующая линза; *10* – кристалл удвоитель; *11* – поворотное (селективное – 0,532 мкм) зеркало; *12* – двояковогнутая линза; *13* – поглотитель (конус); *14* – поглотитель (цветное стекло); *15* – выходное окно; *16* – четвертьволновая пластинка

рования точности перемещения исполнительного механизма по различным координатам приведены в таблице, в которой представлены максимальные значения неопределенности перемещений вдоль различных координат во всем диапазоне перемещений. Погрешность перемещений контролировалась с помощью лазерного интерферометрического преобразователя перемещений [3]. Иллюстрация точности контурного перемещения исполнительного элемента изображена на рис. 3.

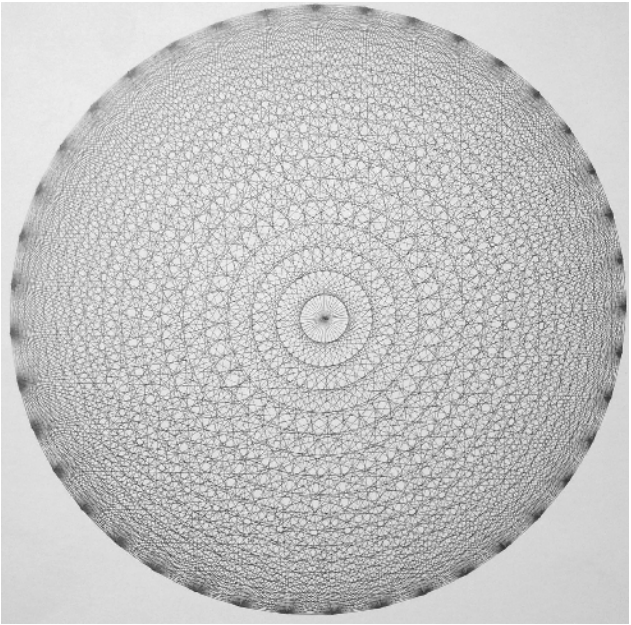


Рис. 3. Сформированный ЛТК LSP-2000

Данная фигура была сформирована многократным прохождением исполнительного элемента по одной и той же траектории. Тестирование других метрологических параметров, когда это технически было возможно, также производились с помощью интерферометрического измерителя перемещений, в остальных случаях измерения осуществлялись косвенным образом, по результатам выполнения различных тестовых заданий.

Процесс выполнения технологических операций показан на рис. 4. В процессе испытаний производилась резка металла, в том числе нержавеющей стали и титана толщиной 6 мм. Резка металла осуществлялась по сложному контуру при произвольной форме поверхности. При микропрофилировании поверхности производилось испарение никелевых пленок толщиной до 10 мкм с поверхности изделий.

Для прецизионной обработки большеразмерных изделий произвольной топологии был разработан многофункциональный лазерный технологический комплекс LSP-2000. Комплекс работает в автоматическом режиме и обеспечивает выполнение следующих технологических операций: резки, сварки и лазерной абляции (испарения материала без перевода в жидкую фазу). Для выполнения этих операций комплекс оснащен двумя технологическими лазерами. Испытания и последующее практическое применение комплекса показали его высокие технические характеристики:

– размер обрабатываемых деталей $3\,000 \times 3\,000 \times 600$ мм^3;
– погрешность обработки не более ± 10 мкм;
– скорость обработки составляет 6 м/мин;
– форма обрабатываемых деталей – произвольная;
– обрабатываемые материалы – это сталь, алюминий, титан, никель и др.

Рис. 4. Вид обрабатываемой антенны с заданной диаграммой направленности

Применение оригинальных конструкторских и инженерных решений обеспечило работу комплекса с заданной точностью, без заклинивания портала и других механических частей в широком диапазоне температур (от +18 до +30 °С). Применение воздушных подшипников в системе основных приводов комплекса позволило предотвратить его механический износ.

Результаты тестирования показали, что созданная лазерная технологическая система полностью соответствует сформулированным требованиям и позволяет производить прецизионную обработку (микропрофилирование) поверхности тел произвольной формы. В частности, с помощью данной системы был реализован синтез антенных решеток с заданной диаграммой направленности. Уникальная совокупность достигнутых технических параметров, а также возможности, заложенные в системах управления и позиционирования, позволяют на базе комплекса LSP-2000 создать контрольно-измерительную

Результаты тестирования точности перемещения исполнительного механизма по различным координатам

Направление перемещения	Неопределенность позиционирования
Вдоль координаты X	≤ 6 мкм
Вдоль координаты Y	≤ 6 мкм
Вдоль координаты Z	≤ 2 мкм
Поворот вокруг вертикали	≤ 1 мкм
Поворот вокруг горизонтали	≤ 1 мкм

машину с неопределенностью результатов измерений не более 5 мкм в любой точке рабочего объема.

Библиографические ссылки

1. Многофункциональная прецизионная лазерная технологическая система для обработки большеразмерных деталей произвольной топологии / В. С. Базин, А. Г. Верхогляд [и др.] // Автометрия. Т. 41. № 6. 2005. С. 107–114.

2. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика. М. : Изд-во МГУ, 1998.

3. Ведерников В. М., Кирьянов В. П., Лебедев Г. А. Применение лазерного интерферометра для контроля и юстировки измерительных систем тяжелых станков // Станки и инструмент. № 4. 1978.

A. G. Verkhogliad, M. F. Stupak, Yu. V. Chugui

SURFACE LASER MICROPROFILING

Brief description of main technical decisions and experimental results of testing of laser technological complex are presented. Measurement error in stop-start mode doesn't exceed 2 μm, treatment error under the movement of executive element on the arbitrary contour was no more than 20 μm. The operation speed under the surface microprofiling exceeded 9m/min. The time of continuous work in automatic mode has been more than 15 hours within the temperature range from +18 up to +30 C°.

Keywords: laser technological complex, bulk articles laser treatment, cutting, ablation, measurement of 3D objects geometry.

© Верхогляд А. Г., Ступак М. Ф., Чугуй Ю. В., 2010

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев

ЗАВИСИМОСТЬ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ЛУЧА ОТНОСИТЕЛЬНО СТЫКА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ФОКУСИРОВКИ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ*

Рассматривается зависимость рентгеновского излучения от положения луча относительно стыка при различной фокусировке в процессе электронно-лучевой сварки. Результаты используются для синтеза систем автоматического направления луча.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка; рентгеновское излучение; математическое ожидание; плотность распределения электронов.

При электронно-лучевой сварке (ЭЛС) сходящимися электронными пучками положение фокуса луча относительно свариваемых поверхностей является одним из определяющих технологических параметров процесса [1]. Кроме того, степень фокусировки влияет как на чувствительность систем управления положением луча относительно стыка, так и на их устойчивость.

Зависимость рентгеновского излучения (РИ) от положения луча относительно стыка свариваемых деталей описывается следующим выражением [2]:

$$J_{\text{отн}} = \left\{ 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} \exp\left[-\frac{(x-\varepsilon)^2}{2\sigma^2} \right] dx \right\}, \qquad (1)$$

где ε – математическое ожидание (положение луча относительно стыка); X – координата оси стыка, $x = 0$; x_1 и x_2 – координаты кромок стыка (разность x_1 и x_2 определяет зазор в стыке).

Представление в выражении (1) плотности распределения электронов в виде среднеквадратического отклонения σ носит принципиальный характер и не отражает связи с параметрами электронно-оптических систем электронно-лучевых пушек и зависимости от смещения поверхности свариваемых деталей относительно плоскости острой фокусировки. В связи с этим предлагается следующее определение среднеквадратического отклонения:

$$\sigma = \sigma_0 + \left|\Delta\sigma\left(\Delta b\right)\right| + \left|\Delta\sigma\left(\Delta I_{\text{ф}}\right)\right|,$$

где σ_0 – минимальное σ; $\Delta\sigma(\Delta b)$ – приращение σ в зависимости от смещения Δb поверхности свариваемых деталей относительно плоскости острой фокусировки; $\Delta\sigma(\Delta I_{\text{ф}})$ – приращение у в зависимости от приращения

* Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2957).

тока ($\Delta I_ф$) фокусирующей системы относительно тока острой фокусировки.

Допустим, при токе фокусирующей системы (ФС) $I_{ф1}$ электронный луч сфокусирован на поверхности свариваемых деталей (СД) с фокусным расстоянием, равным f_1 (рис. 1). При значении тока фокусирующей системы $I_{ф2}$ изменится положение фокуса луча и окажется на расстоянии f_2. Изменение тока фокуса на $\Delta I_ф$ приводит к увеличению у на $\Delta\sigma$.

Согласно рис. 1 можно найти следующее:

$$\frac{\Delta\sigma\left(\Delta I_ф\right)}{f_1 - f_2} = \frac{R_1}{f_2},$$

где R_1 – средний радиус рассеяния электронов в объеме фокусирующей системы.

Отсюда

$$\Delta\sigma\left(\Delta I_ф\right) = \left| R_1 \left(\frac{f_1}{f_2} - 1 \right) \right|.$$

Абсолютное значение $\Delta\sigma(\Delta I_ф)$ свидетельствует о том, что изменение тока фокусирующей системы $\Delta I_ф$ относительно тока острой фокусировки приводит к увеличению σ относительно минимального σ_0.

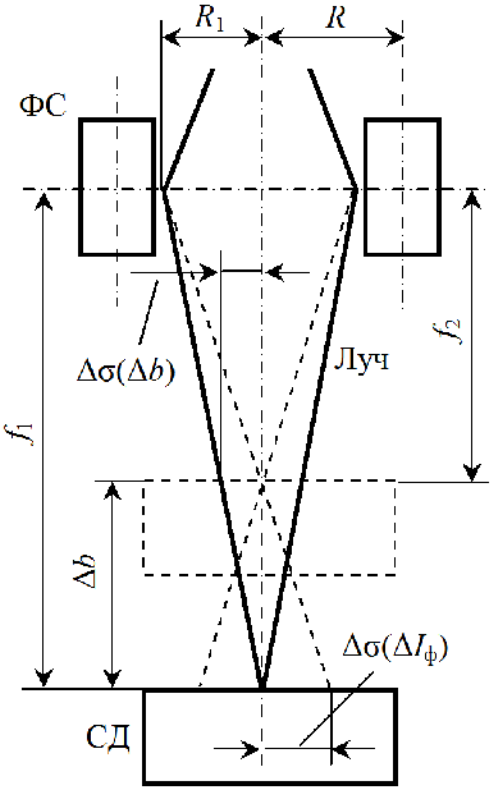


Рис. 1. К расчету зависимости σ от Δb и $\Delta I_ф$

Известно соотношение, связывающее фокусное расстояние с параметрами фокусирующей системы и током фокуса [3]:

$$f \approx \frac{DU}{\left(I_ф W\right)^2},$$

где $I_ф$ – ток фокусирующей системы; W – количество витков фокусирующей системы; U – ускоряющее напряжение; $D \approx 48R$ – параметр фокусирующей системы; R – средний радиус обмотки. С учетом этого получим следующее:

$$\Delta\sigma\left(\Delta I_ф\right) = \left| R_1 \left[\frac{\left(I_{ф1} + \Delta I_ф\right)^2}{I_{ф1}^{\ 2}} - 1 \right] \right|, \qquad (2)$$

где $I_{ф2} = I_{ф1} + \Delta I_ф$.

График зависимости (2) для электронно-лучевой пушки КЭП-2М ($R_1 \approx 10$ мм; $W = 5000$; $U = 25$ кВ; $I_{ф1}$ 50 мА) приведен на рис. 2.

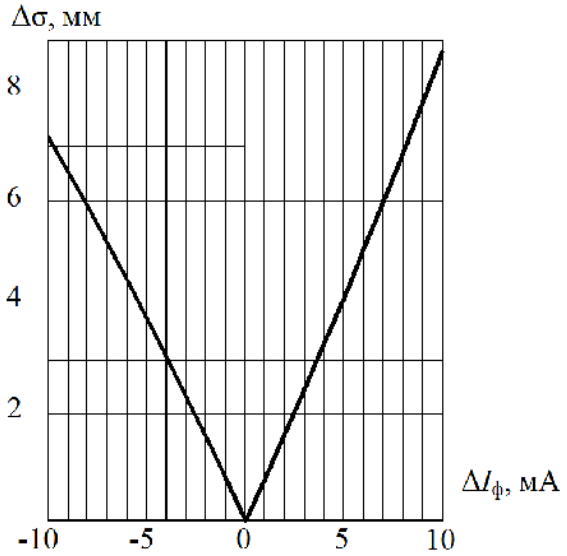


Рис. 2. Зависимость приращения радиуса луча от $\Delta I_ф$

Представляет интерес зависимость смещения плоскости острой фокусировки Δb от приращения $\Delta I_ф$ тока фокусирующей системы. Согласно рис. 1 можно найти следующее значение:

$$\Delta b = f_1 - f_2 \frac{DU}{I_{ф1}^2 W^2} \left[1 - \frac{I_{ф1}^2}{\left(I_{ф1} - \Delta I_ф\right)} \right]. \qquad (3)$$

График зависимости (3) для электронно-лучевой пушки КЭП-2М представлен на рис. 3. Видно, что приращение тока фокусирующей системы на 1 мА приводит к смещению плоскости острой фокусировки почти на 40 мм. Это свидетельствует о необходимости стабилизации тока фокусирующей системы.

Зависимость $\Delta\sigma$ от Δb можно определить следующим образом:

$$\Delta\sigma(\Delta b) = \left| \frac{R_1}{f_1} \Delta b \right|,$$

или

$$\Delta\sigma(\Delta b) = \left| \frac{\left(I_{ф1} W\right)^2 R_1}{DU} \Delta b \right|. \qquad (4)$$

График зависимости (4) приведен на рис. 4. Расчеты произведены для электронно-лучевой пушки КЭП-2М, с углами сходимости электронного пучка $\alpha_п \approx 0{,}01 \div 0{,}03$ рад.

Очевидно, что результаты ЭЛС электронно-лучевыми пучками с меньшими углами сходимости менее подвержены дестабилизирующим факторам.

Подставим уравнение (2) в (1):

$$J_{\text{отн}} = 1 - \frac{1}{\left\{\sigma_0 + \left|R_1\left[\frac{\left(I_{\phi 1} + \Delta I_{\phi}\right)^2}{I_{\phi 1}^{\ 2}} - 1\right]\right|\right\}\sqrt{2\pi}} \times$$

$$\times \int_{x_1}^{x_2} \exp\left\{-\frac{(x-\varepsilon)^2}{2\left\{\sigma_0 + \left|R_1\left[\frac{\left(I_{\phi 1} + \Delta I_{\phi}\right)^2}{I_{\phi 1}^{\ 2}} - 1\right]\right|\right\}^2}\right\} dx. \quad (5)$$

Соотношение (5) описывает зависимость интенсивности рентгеновского излучения от положения луча относительно стыка при различных токах расфокусировки электронного луча (рис. 5). При расчетах зазор в стыке $\Delta = x_2 - x_1$ принят равным 0,1 мм, $\sigma_0 = 0{,}1$ мм. Характер зависимостей аналогичен приведенным в литературе [2], где представлены характеристики интенсивности рентгеновского излучения в зависимости от положения луча относительно стыка при различных σ. Этого следовало ожидать, так как изменение тока фокусирующей системы эквивалентно изменению σ в соответствии с (5).

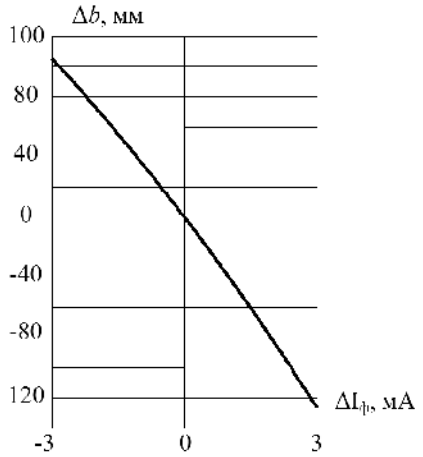


Рис. 3. Зависимость смещения плоскости острой фокусировки от ΔI_{ϕ}

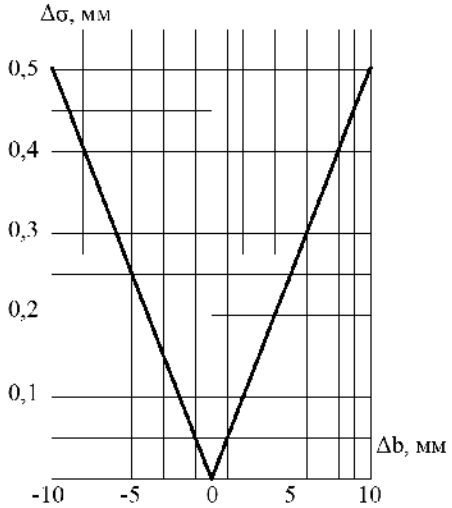


Рис. 4. Зависимость приращения радиуса луча от смещения плоскости свариваемых деталей

Если в выражение (1) вместо y подставить (4), то получим характеристику интенсивности рентгеновского излучения в зависимости от положения луча относительно стыка и положения поверхности свариваемых деталей относительно плоскости острой фокусировки (рис. 6):

$$J_{\text{отн}} = 1 - \frac{1}{\left[\sigma_0 + \left|\frac{\left(I_{\phi 1} W\right)^2 R_1}{DU}\Delta b\right|\right]\sqrt{2\pi}} \times$$

$$\times \int_{x_1}^{x_2} \exp\left\{-\frac{(x-\varepsilon)^2}{2\left[\sigma_0 + \left|\frac{\left(I_{\phi 1} W\right)^2 R_1}{DU}\Delta b\right|\right]^2}\right\}. \quad (6)$$

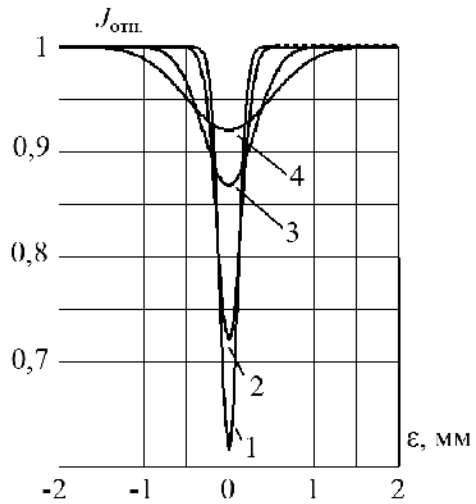


Рис. 5. Зависимость РИ от е при различных токах расфокусировки: *1* – $\Delta I_{\phi} = 0$; *2* – $\Delta I_{\phi} = 0{,}1$; *3* – $\Delta I_{\phi} = 0{,}5$; *4* – $\Delta I_{\phi} = 1$ мА

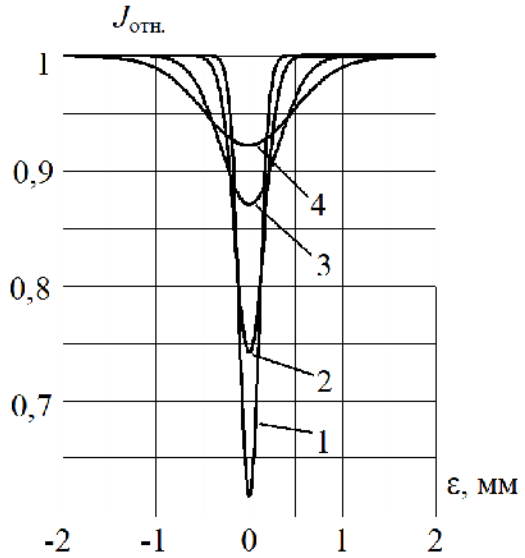


Рис. 6. Зависимость РИ от ε при различных уровнях свариваемых поверхностей относительно плоскости острой фокусировки: *1* – $\Delta b = 0$; *2* – $\Delta b = 5{,}3$; *3* – $\Delta b = 15$; *4* – $\Delta b = 40$ мм

Когда луч находится на стыке ($\varepsilon = 0$), то интенсивность рентгеновского излучения минимальна при минимальном радиусе луча, т. е. при $\Delta I_ф = 0$ и $\Delta b = 0$ (рис. 5, 6). При этом относительное изменение интенсивности рентгеновского излучения при смещении луча относительно стыка максимально.

При расфокусировке луча ($\Delta I_ф \neq 0$ и $\Delta b \neq 0$) относительное изменение интенсивности рентгеновского излучения уменьшается, ветви характеристик становятся более пологими. Можно сказать, что датчик рентгеновского излучения становится менее чувствительным к смещению луча относительно стыка.

Зависимости интенсивности рентгеновского излучения от степени расфокусировки ($\Delta I_ф$) при различных положениях луча (ε) относительно стыка представлены на рис. 7. Характеристики рассчитаны по формуле (5) для электронно-лучевой пушки КЭП 2М при $\sigma_0 = \Delta = 0{,}1$ мм.

При больших значениях расфокусировки величина интенсивности рентгеновского излучения стремится к значению интенсивности излучения, возникающего на чистом металле (без зазора). Очевидно, что при смещении сфокусированного луча ($\Delta I_ф = 0$) относительно стыка, интенсивность рентгеновского излучения повышается (рис. 7, кривые *2–5*), но характер его изменения при расфокусировке не одинаков.

Когда смещение луча е не превышает Δ, характеристики имеют экстремум-минимум в точке $\Delta I_ф = 0$ (кривые *1*, *2*), т. е. значение интенсивности излучения минимально при сфокусированном луче.

Если смещение $\varepsilon > \Delta$, то при $\Delta I_ф = 0$ интенсивность оказывается больше, чем в окрестностях этой точки. При расфокусировке она начинает уменьшаться, а затем увеличиваться до максимального значения (кривые *3–5*). Это можно объяснить следующим образом. Когда луч смещен на величину $\varepsilon < \Delta$, то большая часть электронов, попадая в зазор, не участвует в создании рентгеновского излучения. При расфокусировке эта часть электронов уменьшается, и поэтому интенсивность излучения сразу начинает возрастать. Если же луч смещен на величину, превышающую Δ ($\varepsilon > \Delta$), то в этом случае большая часть электронов участвует в создании рентгеновского излучения. Когда диаметр луча начинает увеличиваться, возрастает число электронов, попадающих в зазор, и интенсивность излучения начинает уменьшаться. При дальнейшей расфокусировке количество электронов, попадающих на поверхность изделия возрастает быстрее, чем количество электронов, проникающих в зазор, и интенсивность излучения возрастает.

Явление изменения интенсивности излучения при расфокусировке луча можно использовать для контроля и управления положением фокуса луча относительно поверхности свариваемых деталей.

С другой стороны, необходимо учитывать это явление при реализации средств позиционирования луча по стыку. Из графиков видно, что заметные изменения интенсивности излучения происходят уже при токах расфокусировки, составляющих доли 1 мА. Поэтому нестабильность тока фокусирующей системы может стать причиной ложных «срабатываний» – изменение интенсивности рентгеновского излучения в то время, когда положение луча относительно стыка постоянно.

В связи с этим представляет интерес возможность определения причины изменения интенсивности рентгеновского излучения (изменение положения луча или изменение положения острой фокусировки луча). Такую возможность дает, например, частотная селекция сигнала рентгеновского датчика при наличии в параметрах электронного луча периодических составляющих с известными частотами.

Максимальное относительное изменение интенсивности рентгеновского излучения при перемещении луча относительно стыка может служить критерием фокусировки луча на поверхности свариваемых деталей при регистрации излучения без оплавления кромок, а также критерием максимальной чувствительности датчика к перемещению луча относительно стыка.

Полученные соотношения, определяющие связь тока фокусирующей системы с параметрами луча, позволили произвести анализ зависимости интенсивности рентгеновского излучения от изменения тока фокусировки и уровня поверхности свариваемых деталей.

Явление изменения интенсивности рентгеновского излучения при изменении уровня фокусировки луча можно использовать для контроля и управления положением фокуса луча относительно поверхности свариваемых деталей, однако необходимо различать причину изменения интенсивности, чтобы осуществлять управление по требуемому параметру (по положению луча, фокуса, диаметру луча).

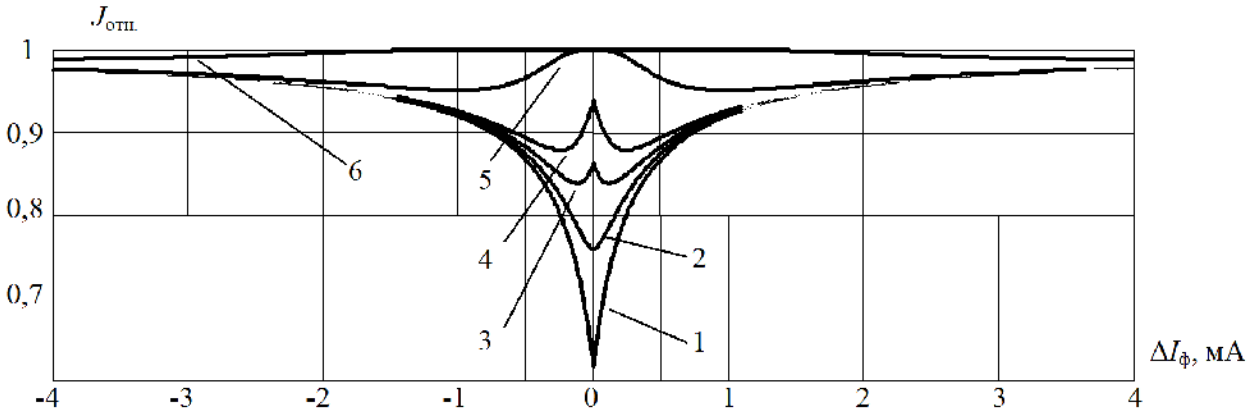


Рис. 7. Зависимость РИ от степени расфокусировки при различных положениях е электронного луча относительно стыка: *1* – $\varepsilon = 0$; *2*– $\varepsilon = 0{,}1$; *3* – $\varepsilon = 0{,}15$; *4* – $\varepsilon = 0{,}2$; *5* – $\varepsilon = 0{,}5$; *6* – $\varepsilon = 2$ мм

Библиографические ссылки

1. Рыкалин Н. Н., Зуев И. В., Углов А. А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. М. : Машиностроение, 1978.

2. Математические модели процессов изменения рентгеновского излучения от положения луча относительно стыка при электронно-лучевой сварке / В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, Н. Н. Горяшин [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып. 2. 2009. С. 247–251.

3. Башенко В. В. Электронно-лучевые установки. Л. : Машиностроение, 1975.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev

DEPENDENCE OF X-RAY RADIATION FROM BEAM POSITION AGAINST JOINT WITH DIFFERENT FOCUSING DEGREE IN THE PROCESS OF ELECTRON BEAM WELDING

The article considers dependence of X-ray emission from the position of the beam against joint at different focus in the process of electron-beam welding. The results are used for the synthesis of systems of automatic direction of beam.

Keywords: electron beam welding, X-ray radiation, mathematical expectation, density of electron distribution.

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., 2010

УДК 621.787

Л. И. Оборина, А. Е. Романов, Б. К. Исмаылов, И. В. Стерехов, И. В. Трифанов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ, РАБОТАЮЩИХ В СВЧ-, КВЧ-ДИАПАЗОНАХ

Представлены методы изготовления полосно-пропускающего фильтра на волноводе прямоугольного сечения, изготавливаемого из размеростатичного материала сплава 32 НКД.

Ключевые слова: волновод, деформирующее протягивание, многостороннее деформирование, напряжение.

Приоритетными тенденциями развития высокочастотных систем спутниковой связи КВЧ-диапазона являются интенсивное освоение Ка-диапазона длин волн (СВЧ-, КВЧ-диапазонов), а также миллиметрового диапазона волн (КВЧ-диапазона) [1].

Ключевыми свойствами этих перспективных систем спутниковой связи будут являться технические решения реализации высокоскоростных услуг, которые обеспечат применение спутниковой связи в массовых сегментах рынка, где наибольшее значение имеют факторы глобальности услуг, конвергенции абонентских сервисов и мультимедийности информации.

Технологические достижения в области создания элементной базы КВЧ-диапазона будут определять уровень развития радиотехнических средств, антенно-фидерных систем, возможности, глубину и содержание осваемого КВЧ-диапазона. Одной из важных задач является разработка научно-технологических решений при изготовлении полосно-пропускающих фильтровых устройств, обеспечивающих электромагнитную совместимость между приемным и передающим трактом ретранслятора, а также минимальные вносимые потери в заданной полосе пропускания и стабильность рабочих характеристик в условиях воздействия космической среды при циклическом изменении температуры в диапазоне ±150 °С.

В связи с отмеченным для изготовления фильтровых устройств, обеспечивающих электромагнитную совместимость стволов, ретранслятора целесообразно использовать материалы с малым температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) 1÷2 1/°С.

Таким требованиям отвечает сплав 32 НКД, основные характеристики которого представлены в табл. 1.

Предварительный расчет волноводных полосно-пропускающих фильтров с параллельными индуктивными связями проводится по формулам [2]. Длина волн в волноводе прямоугольного сечения $a \times b$ имеет вид

$$\lambda g = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2\times a}\right)^2}}, \qquad (1)$$

где λg – длина критической волны; λ – длина волны в воздухе; a – наибольший поперечный размер прямоугольного волновода.

Необходимое количество резонаторов полосно-пропускающего фильтра Чебышевского типа определяется

по кривым [2], из условия обеспечения развязки на заданных частотах.

По результатам предварительного расчета 5-ти резонаторного полуволнового ППФ с непосредственными связями проведено СВЧ-моделирование фильтра с целью уточнения размеров: диаметров стержней и длин полуволновых резонаторов.

На рис. 1 показана 3D-модель 5-ти резонаторного полуволнового ППФ.

Результаты СВЧ-моделирования фильтра в узкоспециализированной программе по Wale Wizard приведены на рис. 2.

Из графика видно, что электрические характеристики фильтра выполняют требования по обеспечению электромагнитной совместимости стволов ретранслятора. Важным фактором является выбор материала для изготовления ППФ и технологии, обеспечивающей радиотехнические характеристики в условиях эксплуатации – при циклическом изменении температуры.

Для изготовления корпусов ППФ из сплава 32НКД может быть использован метод деформирующего протягивания с многосторонним обжатием или метод электроэрозионной обработки проволочным электродом. Метод деформирующего протягивания при изготовлении корпусов ППФ состоит из двух этапов: получение волноводов круглого сечения, изготовление волноводов прямоугольного сечения из этих же труб методом многостороннего деформирования.

Метод изготовления волноводных элементов круглого сечения деформирующим протягиванием заключается в холодном пластическом деформировании трубчатой заготовки при поступательном перемещении через отверстие с некоторым натягом специального инструмента-дорна. При этом обеспечивается повышение точ-

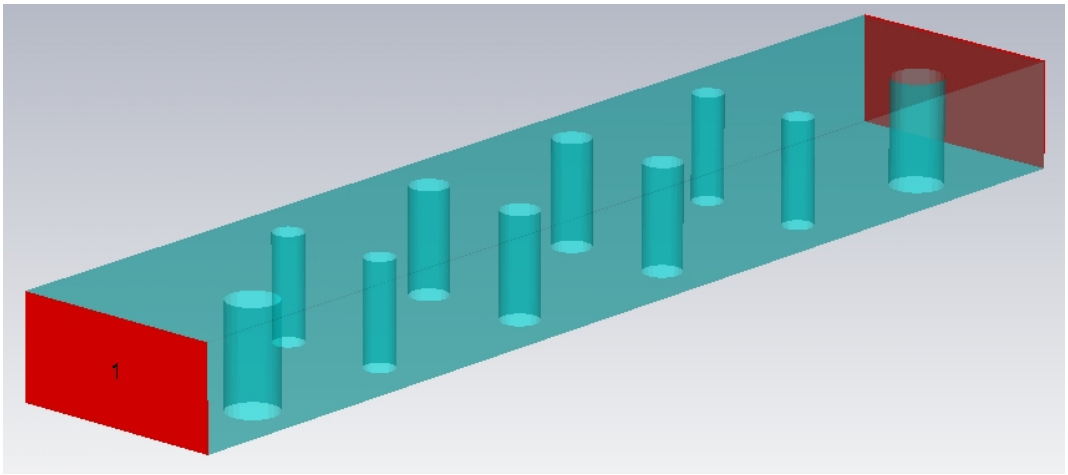


Рис. 1. 3D-модель 5-ти резонаторного полуволнового ППФ с непосредственными связями

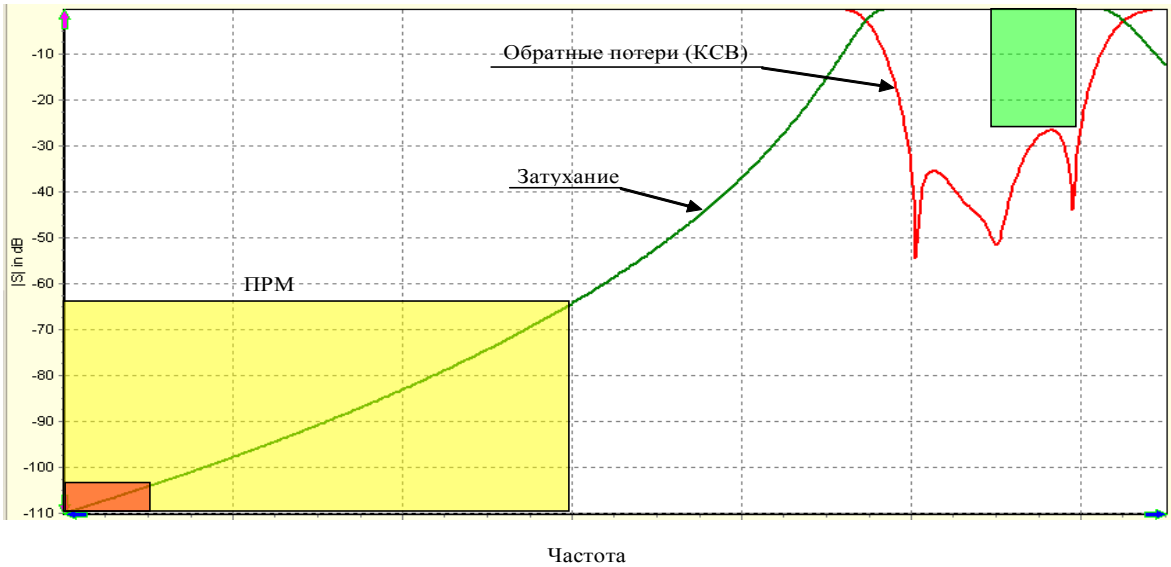


Рис. 2. Расчетные характеристики 5-ти резонаторного полуволнового ППФ. Моделирование в программе mWave Wizard. ПРМ – верхний диапазон частот

Таблица 1

Основные характеристики сплава 32 НКД

Сплав	$\alpha_{ср}\cdot10^5$, K^{-1} (20÷100 ºС)	Точка Кюри, ºС	ρ, мкОм	E, МПа	δ_e, МПа	δ, %	H_c, А/М
32 НКД	1	220	0,78	14100	451	41	12,7

ности отверстий, интенсивное сглаживание неровностей и упрочнение поверхностного слоя. В поверхностном слое формируются как правило сжимающие остаточные напряжения [4].

В качестве инструмента-дорна для изготовления круглых волноводов использовали стальные протяжки, выполненные в виде двух усеченных конусов, с углом 6÷10° соединенных цилиндрической ленточной шириной 0,1÷3 мм.

Для изготовления протяжек целесообразно применение твердых сплавов, обеспечивающих высокую стойкость инструмента и устраняющих в подавляющем большинстве случаев схватывание обрабатываемого материала заготовки волновода и инструментального материала. Инструменты-дорны диаметром $d \geq 5$ мм могут выполняться сборными. Инструменты меньшего диаметра рекомендуется изготавливать цельными. Наиболее работоспособными являются инструменты из твердых сплавов ВК6, ВК8, ВК15, ВК20, а также ХВГ с твердостью HR_C 60÷62 и шероховатостью поверхности Ra 0,16 мкм. К основным параметрам процесса деформирующего протягивания относится суммарный натяг и натяг за одно деформирующее протягивание, а также число циклов деформирования. Эти параметры, определяя напряженно-деформированное состояние заготовки, оказывают решающее влияние на результаты обработки и ТКЛР сплава 32НКД. Установлено, что с увеличением суммарного натяга и уменьшением натяга за одно деформирующее протягивание повышается точность и качество поверхностного слоя каналов труб волноводов.

Влияние скорости деформирующего протягивания в диапазоне от 1 до 30 м/мин на энергосиловые параметры и результаты обработки невелико [4].

Важное влияние на процесс деформирующего протягивания оказывает применяемый смазочный материал, устраняющий схватывание инструмента-дорна с заготовкой и обеспечивающий снижение деформирующего усилия, а также повышение точности и качества поверхности. Для обработки круглых заготовок деформирующим протягиванием рекомендуется использовать минеральные масла с присадками и синтетические масла (табл. 2).

Процесс деформирующего протягивания труб волноводов может обеспечить высокую точность отверстий (до IT6÷IT7), получить малую шероховатость поверхности (до Ra 0,05÷0,1 мкм), однако при этом значительно упрочняются поверхностный слой (рост микротвердости может достигать 130÷260 %) и создаются сжимающие остаточные напряжения, что нежелательно при нанесении токопроводящих покрытий. Наибольшая величина остаточных напряжений может быть близка к пределу текучести материала заготовки σ_T и это будет являться причиной образования трещин на обрабатываемой поверхности заготовки, что недопустимо для обеспечения качества волноводов.

Технологические возможности деформирующего протягивания существенно зависят от отношения диаметра наружной поверхности заготовки к диаметру ее отверстия (D/d). Предложено [4] на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований разделять подвергаемые деформирующему протягиванию заготовки на два типа: с конечной ($D/d < 3$)b, бесконечной ($D/d \geq 3$) толщиной стенки. Волноводные заготовки имеют D/d = 1,3÷1,8, являются тонкостенными с конечной толщиной стенки для обеспечения малых массогабаритных характеристик. Их стенки в процессе деформирующего протягивания могут подвергаться сплошной и пластической деформации.

При деформирующем протягивании материал заготовки в контактном слое находится в условиях, близких к объемному сжатию.

В остальной части заготовки напряженно-деформированное состояние близко к состоянию трубы, подвергнутой воздействию равномерного внутреннего давления [5]. Фактическая ширина контакта работающего конуса инструмента-дорна с заготовкой $L_Ф$ из-за ее изгиба (рис. 3) в целом оказывается существенно меньше геометрической ширины, определяемой зависимостью:

$$L_T = a / 2\sin\alpha, \qquad (2)$$

где a – натяг на зуб; α – половина угла рабочего конуса инструмента-дорна.

В зависимости от соотношения между в неконтактной деформации за рабочим конусом инструмента-дорна $h_{вк}$ и упругим восстановлением материала заготовки $h_{ув}$ (рис. 3), обработка деформирующим протягиванием круглой заготовки трубы волновода может сопровождаться как положительной, так и отрицательной усадкой отверстия (разбивкой $h_{ус}$) [5; 6].

Для обоснования проектирования операций изготовления волноводов деформирующим протягиванием не-

Таблица 2

Эффективность действия смазок при изготовлении волновода методом многостороннего деформирования из сплава 32НКД

Параметры УЗК	Вид применяемой смазки	$f_{тр}$
F = 200 кГц, A = 8 мкм	Масло индустриальное	0,42
— // —	Масло VELS	0,26
— // —	Масло касторовое	0,21
— // —	Графитовая смазка, полученная энергией взрыва	0,38
— // —	Масло ESSO	0,23

обходимо изучение параметров контактного взаимодействия инструмента-дорна с заготовкой: усилий дорнования, контактных давлений и усадки отверстий, а также исследования точности отверстий, качества их поверхностного слоя, влияния деформации и режимов термообработки на структуру сплава 32НКД и температурный коэффициент линейного расширения.

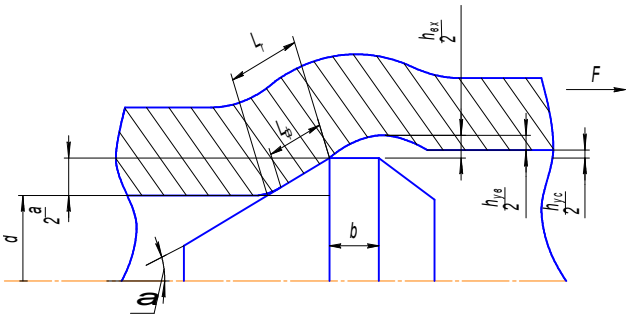


Рис. 3. Схема взаимодействия инструмента-дорна с цилиндрической заготовкой при $D/d < 3$

Известно, что влияние пластической деформации на коэффициент температурного расширения сплава 32НКД описывается выражением

$$\beta = \beta_0 \left(1 + A \cdot \varepsilon\right), \tag{3}$$

где β_0 – коэффициент температурного расширения недеформированного металла; ε – степень деформации; A – коэффициент, учитывающий физические свойства деформируемого металла:

$$A = \chi_T E \gamma / 3, \tag{4}$$

где χ_t – коэффициент изотермической сжимаемости; E – модуль упругости; γ – параметр Грюнайзера:

$$\gamma = \frac{\partial \ln \theta}{\partial \ln V}, \tag{5}$$

где θ – температура Дебая; V – объем.

Значение A для сплава 32НКД находится в пределах 1,3÷2,5.

В связи с этим можно сделать вывод, что деформация при деформирующем протягивании способна изменить коэффициент термического расширения сплава 32НКД в большую сторону, что недопустимо при изготовлении ППФ.

Для обеспечения точности ТКЛР требуемого качества рабочей поверхности каналов труб волноводов круглого сечения необходимо обеспечить соответствующий уровень контактных давлений в зоне деформирования со стороны инструмента-дорна.

Контактные давления, определяются через средние давления на рабочем конусе [6] по формуле

$$p = \frac{F}{\pi d_c L_ф (\sin\alpha + f\cos\alpha)} = \frac{c d^x a^y \text{НВ}}{\pi d_c L_ф (\sin\alpha + f\cos\alpha)}, \tag{6}$$

где F – усилие деформирующего протягивания; d_c – диаметр рабочего конуса посреди ширины контакта; $L_ф$ – фактическая ширина контакта рабочего корпуса инструмента-дорна; f – коэффициент трения между инструментом дорном и трубчатой заготовкой, половина угла рабочего инструмента-дорна; C – коэффициент, зависящий от вида обработки; НВ – твердость обрабатываемого материала; d – диаметр канала трубчатой заготовки; a – степень натяга; x, y – показатели степени, зависящие от характера обработки; α – угол конуса инструмента-дорна.

Средние контактные давления, как показатели исследования [6], определяются в основном величиной натяга (a), механическими свойствами материала заготовок и практически не зависят от диаметра канала трубы волновода. При уменьшении натяга контактные давления возрастают и могут достигать (6–9)$\delta_т$ предела текучести сплава 32НКД. Наибольшие средние контактные давления наблюдаются в области a = 0,012…0,015 мм. Эти наибольшие контактные давления при малых натягах необходимо использовать на финишных операциях для обеспечения наименьшей шероховатости поверхности [6]. Повышение средних контактных давлений в 3…6 раз на финишных операциях обеспечивает Ra 0,01–0,16 мкм после 4 циклов дорнования, что необходимо для снижения потерь в волноводе при прохождении волны.

В связи с отмеченным, механика пластического деформационного протягивания при изготовлении труб волноводов должна строиться по следующей технологической схеме: изготовление труб волноводов механической обработкой с последующим развертыванием каналов, отжиг в вакууме для снятия остаточных напряжений, электрохимическое протягивания канала для удаления дефектного слоя, дорнования канала трубы за несколько переходов инструментами-дорнами с возрастающими размерами диаметров.

При первом деформирующем протягивании целесообразно использовать 50–60 % суммарного натяга дорнования, затем производить отжиг в вакууме для снятия напряжений. Последующие переходы необходимо производить с малыми натягами, при которых обеспечивается высокий уровень контактных давлений, что позволит получить высокое качество поверхности (низкую шероховатость, отсутствие трещин) и обеспечить ТКЛР в заданных пределах. Для изготовления ППФ прямоугольного сечения из сплава 32НКД методом многостороннего деформирования внутренний диаметр трубчатой заготовки определяется по формуле $d = 1{,}2a$, а толщина стенки труб частотой заготовки имеет вид $b = 1{,}25h$, где a – наибольший поперечный размер прямоугольного волновода; h – толщина стенки прямоугольного волновода – корпуса ППФ.

Сущность метода многостороннего деформирования заключается в деформирующем протягивании трубчатой заточки через неподвижный инструмент-дорн и одновременном многостороннем обжатии ее регулируемой роликовой фильерой (рис. 4).

Роликовая фильера образуется двумя парами роликов, которые монтируются в общей обойме, что позволяет по программе производить обжатие трубчатой заготовки. Процесс изготовления труб волноводов методом многостороннего деформирования может быть описан математически на основе теории больших деформаций металла. Используя геометрический подход, основанный на особенностях изменения формы сечения от круглой до прямоугольной, можно произвести расчет усилий и

напряжений при деформирующем протягивании. Их величины зависят от энергии деформирования и сил трения. При больших деформациях в качестве меры деформирования можно использовать логарифмические деформации:

$$\varepsilon_y = \ln(h/b);\ \varepsilon_z = \ln(l/l_0), \qquad (7)$$

где h – толщина стенки прямоугольного волновода; b – толщина стенки трубчатой заготовки; l_0 – начальная длина трубчатой заготовки; l – длина волновода прямоугольного волновода после деформирующего протягивания.

Напряжение δ_z в каждом сечении деформируемой трубы определяется по формуле

$$\delta_z = T_в(z)/F_z, \qquad (8)$$

где F_z – площадь поперечного сечения прямоугольной трубы волновода; $T_в(z)$ – усилие деформирующего протягивания.

Для расчета δ_z при напряженно-деформирующем протягивании волновода прямоугольного сечения рекомендуется применять формулу [7]

$$\frac{d\delta_z}{d_z} + \delta_z\left(c + \frac{dh}{dz}\right) = fc(\varepsilon_z - \varepsilon_y), \qquad (9)$$

где

$$C = \frac{1-0,5}{1+0,5f_{тр}^{д}\left(\frac{dh}{dz}\right)} \times \left[f_{тр}^{д} - \frac{dh}{dz}\right] - f_{тр}^{д},$$

$f = \frac{\delta_i}{\varepsilon_i}$ – функция пластичности; e_i – деформация при i-ом цикле протягивания; δ_i – напряжения; $h(z)$ – сечение стенки трубы волновода прямоугольного сечения; $f_{тр}^{д}$, $f_{тр}^{в}$ – коэффициенты трения в парах (трубчатая заготовка – инструмент (дорн) и ролик фильеры – трубчатая заготовка).

Для уравнения (9) установим следующее краевые условия $h(0) = l$; $\delta_z(0) = k$ и рассчитаем напряжения в сечениях очага деформации волновода с учетом допустимых ε_z и ε_y для сплава 32НКД, обеспечивающие ТКЛР 1÷2 1/°С. Расчеты показывают, что усилия протягивания в сечениях очага деформации (рис. 5), а также напряжения в сечениях очага деформации (рис. 6) носят нелинейных характер и могут влиять на ТКЛР волнолвода ППФ. Для обеспечения требуемого ТКЛР необходимо, чтобы $\delta_z \leq 400$, что подтверждается проведенными дилатометрическими исследованиями [7].

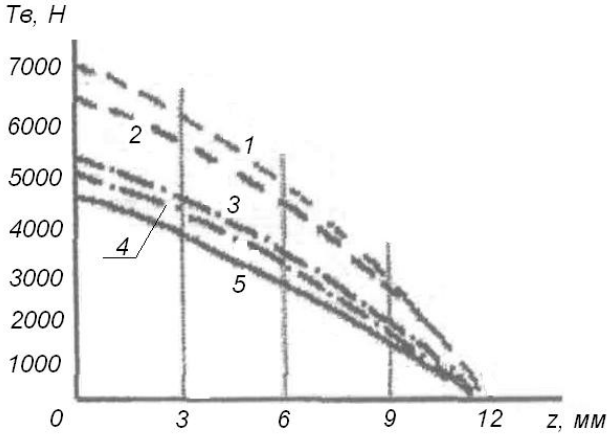


Рис. 5. Усилия протягивания в сечениях очага деформации l-волновода сечением 3,6 × 1,8 мм из сплава 32НКД: *1* – усилие обжатия Δ = 0,40 мм; *2* – усилие обжатия Δ = 0,15 мм; *3* – усилие обжатия Δ = 0,10 мм; *4* – усилие обжатия Δ = 0,08 мм; *5* – усилие обжатия Δ = 0,05 мм; *6* – усилие обжатия Δ = 0,05 мм с наложением УЗК

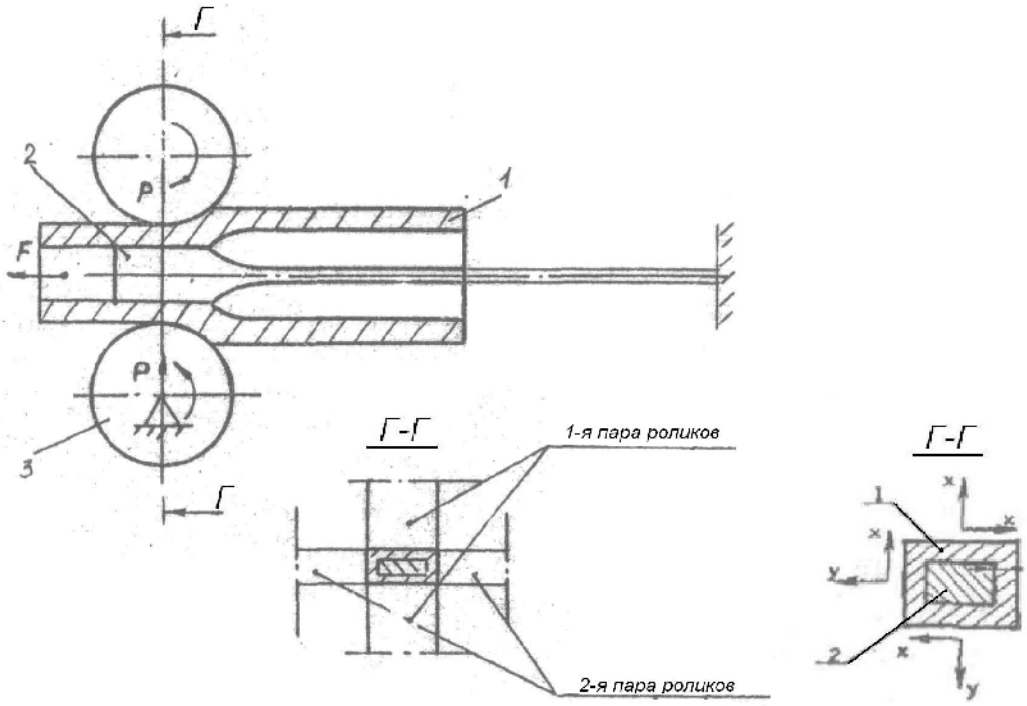


Рис. 4. Схема процесса изготовления прямоугольного волновода ППФ из сплава 32НКД методом многостороннего деформирования: *1* – трубчатая заготовка волновода; *2* – инструмент-дорн; *3* – ролики роликовой фильеры

Предложенная методика позволяет обеспечить низкий ТКЛР при изготовлении ППФ методом многостороннего деформирования и требуемое качество работы каналов систем спутниковой связи путем стабилизации радиофизических характеристик.

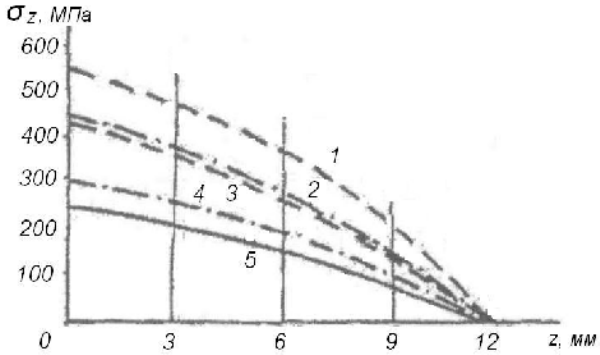


Рис. 6. Напряжения σ_z в сечениях очага деформации: *l*-волновода сечением 3,6 × 1,8 мм: *1* – усилие обжатия Δ = 0,40 мм; *2* – усилие обжатия Δ = 0,15 мм; *3* – усилие обжатия Δ = 0,1 мм; *4* – усилие обжатия Δ = 0,08 мм; *5* – усилие обжатия Δ = 0,05 мм; *6* – усилие обжатия Δ = 0,05 мм с наложением УЗК

Библиографические ссылки

1. Достижения в освоении миллиметровых и субмиллиметровых волн / Р. П. Быстров, А. В. Соколов, Л. В. Федорова [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 6. С. 52–63.

2. Матей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и связи. Т. 1. М. : Связь, 1976.

3. Модель А. И. Фильтры СВЧ в радиорелейных системах. М. : [Б. и.], 1976.

4. Розенберг А. М., Розенберг О. А. Механика пластического деформирования в процессе резания и деформирующего протягивания. Киев : Наукова думка, 1990.

5. Скворцов В. Ф., Арляпов А. Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра : монография. Томск : Изд-во ТПУ, 2005.

6. Трифанов И. В., Оборина Л. И., Стерехов И. В. Исследование параметров взаимодействия инструмента-дорна и заготовки при изготовлении каналов волноводов малого сечения // Вестник СибГАУ. 2007. № 4. С. 126–127.

7. Дилатометрические исследования физических параметров труб волноводов / Л. И. Оборина, И. В. Трифанов, И. В. Стерехов [и др.] // Вестник СибГАУ. 2010. № 1. С. 42–46.

L. I. Oborina, A. E. Romanov, B. K. Ismaylov, I. V. Sterehov, I. V. Trifanov

TECHNOLOGICAL FEATURES OF MANUFACTURING BAND-PASS FILTERS WORKING IN UHF-, EHF-RANGES

Manufacturing methods of band-pass filter on a wave guide of rectangular section made of sizestable material of 32 NKD alloy are presented in this article.

Keywords: wave guide, deforming inhaling, multilateral deformation, pressure.

© Оборина Л. И., Романов А. Е., Исмаылов Б. К., Стерехов И. В., Трифанов И. В., 2010

УДК 621.791.971

А. А. Безруких, Р. А. Мейстер, М. А. Лубнин, С. А. Готовко

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НАПЛАВКИ НЕЗАВИСИМОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ ПЛАВЯЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ

Приведена технология высокоэффективного процесса наплавки независимой трехфазной дугой покрытыми электродами. Доля участия основного металла в наплавленном состоянии не превышает 10 %, что неосуществимо при однодуговой наплавке.

Ключевые слова: наплавка, независимая трехфазная дуга, плавящиеся электроды.

Условия работы технических систем, в том числе космической техники, требуют производства узлов и деталей со специфическими свойствами рабочих поверхностей, таких как жаростойкость и жаропрочность, износостойкость, коррозионная стойкость и т. д. При этом необходимо экономное использование дорогостоящих материалов. Данная проблема решается путем использования наплавочных процессов. Однако широко распространенный однодуговой способ наплавки покрытыми электродами имеет серьезные недостатки, которыми являются низкая производительность и необходимость нанесения 4–5-ти слоев для получения требуемого состава наплавленного металла.

Применение переменного тока в наплавочных процессах позволяет использовать простые и дешевые источники питания, обладающие более высокими КПД в сравнении с выпрямителями. Дуга переменного тока свободна от такого недостатка как магнитное дутье, поэтому использо-

вание сварочных трансформаторов, особенно трехфазных, в наплавочных процессах весьма перспективно.

Преимуществами трехфазной дуги являются высокая производительность процесса, достигаемая за счет одновременного плавления сразу трех электродов; значительное снижение глубины проплавления из-за отсутствия тока в наплавляемой детали; интенсивное перемешивание жидкого металла в сварочной ванне, обеспечивающее однородную структуру валиков. Отличительной особенностью способа является то, что наплавляемое изделие в цепь не включается, а трехфазная дуга находится между тремя стержнями, т. е. одновременно горят три однофазных дуги в одном общем факеле, взаимно влияя друг на друга и на электроды. Такое взаимодействие значительно увеличивает производительность наплавочных работ, уменьшает удельный расход электроэнергии и усиливает ионизацию дугового промежутка. При этом проплавление основного металла значительно уменьшается по сравнению с однофазными процессами наплавки. Оно происходит только за счет теплового воздействия трехфазной дуги и расплавленного электродного металла. В связи с освоением производства электродов диаметром 1,6–3 мм появилась возможность уменьшения массы электрододержателей и токоподводящих проводов для трехфазных дуговых процессов, что позволило решить проблему на пути реализации данного способа [1].

Однако в литературных источниках практически нет сведений о применении наплавки независимой трехфазной дугой тремя электродами. В связи с этим были проведены исследования по трехфазной наплавке покрытыми электродами с целью обеспечения формирования валиков при минимальной доле участия основного металла в наплавленном путем оптимизации параметров процесса.

Для проведения экспериментов по трехфазным процессам была собрана специальная установка с трансформатором ТШС-1000-3. Схема наплавки представлена на рис. 1. Падающая характеристика обеспечивалась отдельными дросселями с кольцевыми магнитопроводами. Это дает возможность регулирования и выравнивания тока в каждой фазе, что обеспечивает равномерность плавления электродов.

К покрытию электродов для наплавки трехфазной дугой предъявляются, помимо стандартных, требования ограниченной электропроводности и вязкости шлака. При их несоблюдении возможны короткие замыкания между стержнями по межэлектродному слою покрытия, затрудняющие ход процесса. Электроды с тремя стержнями в общей обмазке промышленностью не выпускаются. Их сборка ведется в лабораторных условиях из обычных электродов диаметром 1,6–3 мм марок МР-3, ОЗС-12 и др. Изготовление пучка включает обмазку связанных нитками стержней силикатным клеем, после высыхания которого они скрепляются через равные промежутки тонкой проволокой и просушиваются при температуре 200 °С [2]. Склеивание предотвращает расхождение электродов при обгорании связок. Одинаковое расстояние *t* между

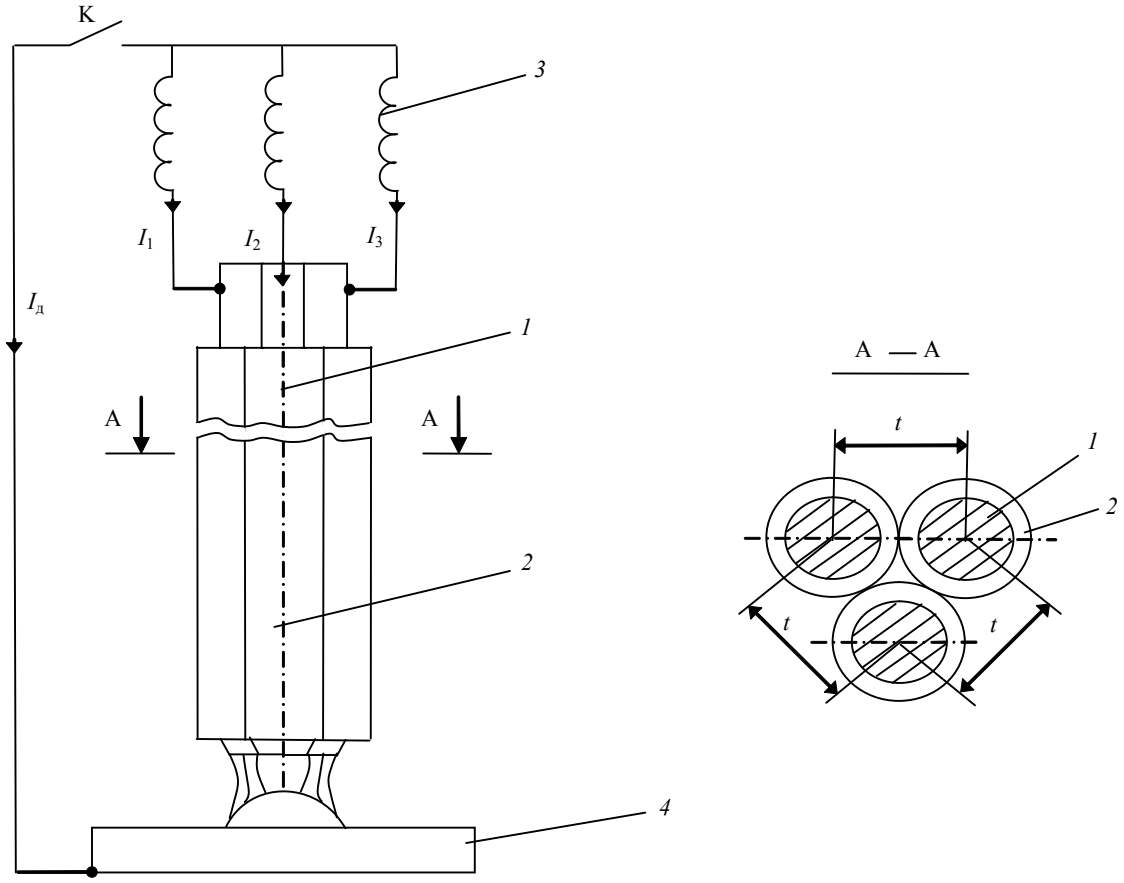


Рис. 1. Наплавка независимой трехфазной дугой: *1* – стержень электрода; *2* – покрытие на электроде; *3* – вторичные обмотки трехфазного трансформатора; *4* – деталь; I_1, I_2, I_3 – токи в электродах; $I_д$ – ток в нулевом проводе; К – контакт отключения нулевого провода; *t* – расстояние между электродами

стержнями (рис. 1) обеспечивает им равные электрические параметры режимов, что способствует их равномерному плавлению. Собранный пучок фиксировался в простейшем электрододержателе с тремя взаимно изолированными медными пластинами.

Зажигание независимой дуги осуществляется касанием изделия тремя электродами при подключении к изделию нулевого провода. После зажигания дуги и разогрева детали нулевой провод отключается от детали. Недостатком процесса является невозможность гашения дуг без отключения питания. В отличие от однодуговой сварки напряжение дуг в данном случае изменять в процессе наплавки невозможно. Напряжение на дугах зависит от расстояния между электродами и толщины их покрытия.

К наиболее важным показателям устойчивости горения независимой трехфазной дуги следует отнести одновременное зажигание трех дуг, равномерность плавления трех электродов, потери на угар и разбрызгивание, стабильность по глубине проплавления и формированию валика, расстояние от независимой трехфазной дуги до детали, отсутствие сплавления трех электродов при перерывах в горении дуги [3].

Коэффициент наплавки $Q_н$ (г/(А·ч)) в экспериментах можно определить следующим образом:

$$Q_н = G_н 3600 / (3I \cdot t),$$

где $G_н$ – масса наплавленного металла, г; t – время горения дуги, с; I – линейный ток в электродах, А ($I_1 = I_2 = I_3$).

Процент потерь на угар и разбрызгивание (ψ) определяется по формуле

$$\psi = (G_{бр} / G_н)\, 100\ \%,$$

где $G_{бр}$ – масса брызг, г.

Наплавка производилась на зачищенные до металлического блеска пластины из низкоуглеродистой стали толщиной 3–5 мм при следующих параметрах: $I_э$ = 55–60 А; $U_д$ = 30–32 В; U_{xx} = 80 В. Коэффициент наплавки составил 6,23–6,37 г/(а·час), потери на угар и разбрызгивание – 15–10 %. Таким образом, эффективность данного процесса выше, чем при однофазной наплавке, поскольку энергия затрачивается только на плавление электродного пучка.

При сравнении с традиционным однодуговым процессом наплавка независимой трехфазной дугой отличается значительно большей производительностью. Это обеспечивается одновременным горением сразу трех электродов. Более того, как показали эксперименты, на одинаковых режимах по току три электрода при наплавке независимой трехфазной дугой плавятся на 20 % быстрее, чем один электрод при обычной однодуговой наплавке. Высокая эффективность достигается также за счет уменьшения проплавления основного металла. При наплавке одним электродом величина доли участия основного металла в наплавленном обычно составляет 30–40 %. В результате большая часть наплавляемого металла уходит в основной, а чистый наплавленный металл возможно получить только в 4–5 слое. При наплавке исследуемым способом были получены образцы с долей участия основного металла в наплавленном менее 10 %.

После наплавки образцы с валиками разрезались поперек, шлифовались с последующим травлением в 30%-ном растворе азотной кислоты для выявления границы сплавления. Доля участия основного металла в наплавленном определялась с помощью цифровых фотоснимков по формуле

$$\lambda = (F_{пр} / F_п)\, 100\ \%,$$

где $F_{пр}$ – площадь проплавления основного металла; $F_п$ – общая площадь поперечного сечения валика (рис. 2).

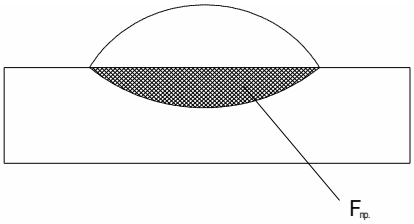


Рис. 2. Поперечное сечение валика

Установлено, что проплавление основного металла минимальное, доля участия основного металла в наплавленном доходила до 10 %. Очевидно, что способ трехфазной наплавки независимой дугой позволяет решить проблему проплавления основного металла. Получение чистого наплавленного металла без примесей основного возможно с первого-второго слоя, что недостижимо при обычных однодуговых способах наплавки. Выявлено, что повышение тока значительно улучшает формирование шва, зажигание дуги и устойчивость ее горения. Но проплавление увеличивается с 2–7до 8–10 %.

Хорошие результаты показала также наплавка на простую сталь электродами аустенитного класса. Для наплавки использовались электроды ОК 61,30 фирмы ESAB диаметром 2,5 мм. Минимальное проплавление основного металла было получено на следующих режимах: $I_{эл}$ = 50 А, $U_д$ = 32–34 В, U_{xx} = 75 В. Доля участия основного металла в наплавленном не превышает 5 % (рис. 3).

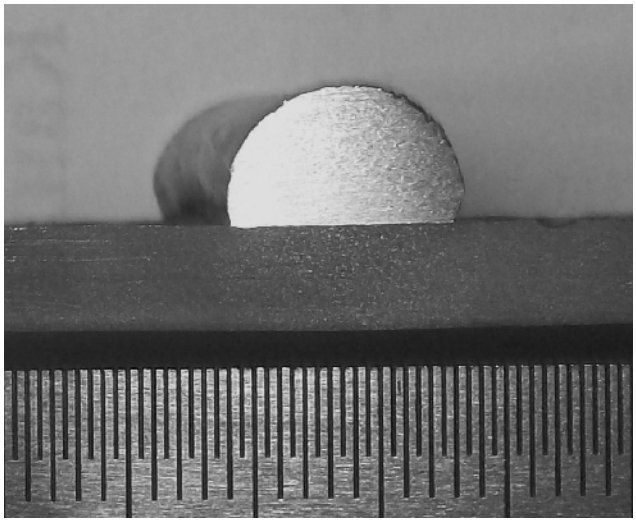


Рис. 3. Внешний вид образца в поперечном сечении, наплавленного электродами аустенитного класса

Из образцов наплавки электродами МР-3 изготовлены металлографические шлифы для выявления характера микроструктуры (рис. 4). Для травления шлифов способом втирания использовался реактив следующего состава: HCl – 60 см^3, $CuSO_4$ – 12 г, H_2O – 60 см^3. Исследова-

ние проводилось под микроскопом МЕТАМ ЛВ-31 при увеличениях ×50 и ×100.

Анализ микрошлифов выявил слоистость структуры наплавленного валика (рис. 5), связанную, очевидно, со спецификой электродного пучка. Хорошо визуализируется характерное для процессов плавления металла дендритное строение. Граница между основным и наплавленным металлом – четкая.

Переходная зона (рис. 6), от которой происходит рост столбчатых кристаллитных блоков, состоит из основного и наплавленного металла. Околошовная зона имеет крупнозернистую структуру, как результат перегрева основного металла при наплавке. Это свидетельствует о высокой эффективности теплового источника. Преодолеть крупнозернистое строение основного металла вблизи границы сплавления можно путем принудительного охлаждения детали с ее обратной стороны проточной водой, увеличением скорости наплавки, последующей термической обработкой (нормализацией).

Минимальный ток устойчивого горения независимой трехфазной дуги при диаметре электродов 2 мм составляет 55 А, а при пониженных значениях зажигание дуги становится затруднительным.

Оптимальный интервал токов составляет 60–70 А. Превышение этих значений приводит к чрезмерной глубине проплавления основного металла.

В ходе исследований были получены образцы наплавки независимой трехфазной дугой, в которых доля участия основного металла в наплавленном составляет менее 10 %. Подтверждена высокая производительность технологического процесса наплавки независимой трехфазной дугой покрытыми электродами.

Металлографическим способом были выявлены слоистость наплавленного валика, связанная с конструкцией электродного пучка, а также дендритное строение структуры. Граница между основным и наплавленным металлом – четкая, что связано, вероятно, со сниженным влиянием независимой дуги на основной металл.

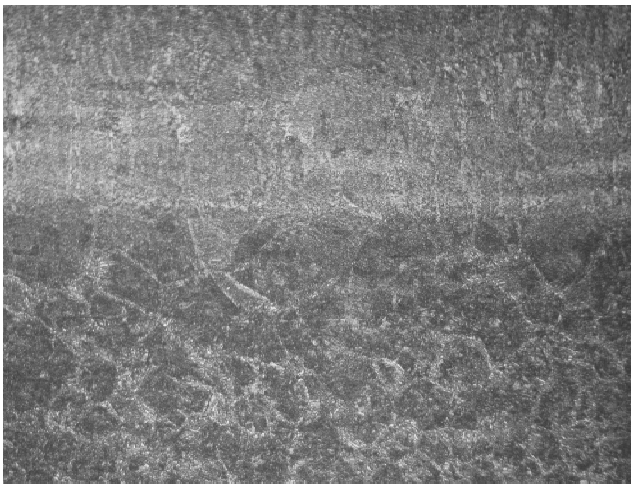


Рис. 6. Переходная зона ×100

Библиографические ссылки

1. Михайлов Г. П. Сварка трехфазной дугой. М. : Машгиз, 1956.

2. Мейстер Р. А., Падар В. А., Безруких А. А. Наплавка трехфазной дугой плавящимися электродами : сб. науч. тр. ; отв. ред. Е. Г. Синенко. Красноярск : СФУ, 2007. С. 30–34.

3. Мейстер Р. А., Безруких А. А., Мейстер А. Р. Многодуговая наплавка покрытыми электродами // Сварочное производство. 2008. № 8. С. 21–23.

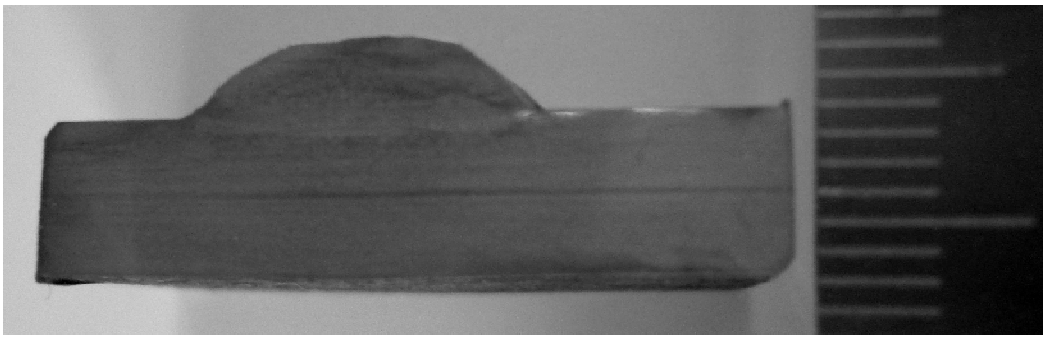
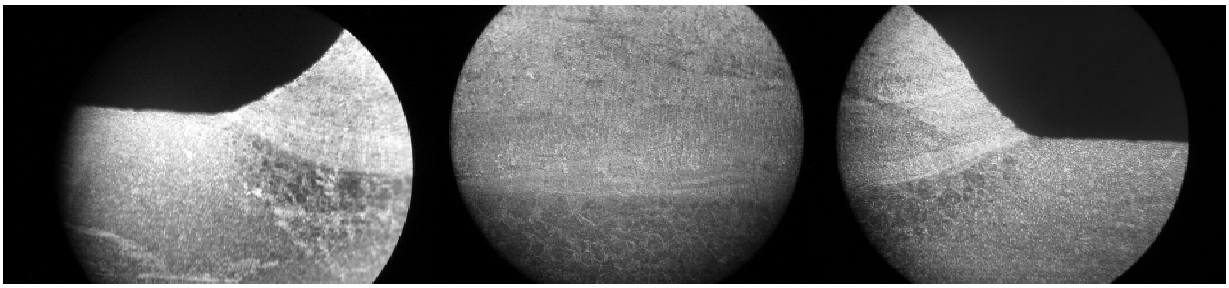


Рис. 4. Поперечное сечение валика, наплавленного электродами МР-3 диаметром 2 мм



а *б* *в*

Рис. 5. Общий вид микроструктуры в зоне наплавленного металла (r50): *а*, *в* – края валика; *б* – середина

A. A. Bezrukih, R. A. Meister, M. A. Lubnin, S. A. Gotovko

INVESTIGATION OF WELD-DEPOSITION BY MEANS OF INDEPENDENT THREE-PHASE ARC SURFACING WITH CONSUMABLE ELECTRODES TECHNOLOGICAL OPPORTUNITIES

The technology of high-effective process of weld-deposition by independent three-phase arc surfacing with coated electrodes is given in the article. The share of the main metal in the overlay does not exceed 10 %, which is impractical for one-arc surfacing.

Keywords: surfacing, independent three-phase arc, consumable electrodes.

© Безруких А. А., Мейстер Р. А., Лубнин М. А., Готовко С. А., 2010

УДК 62-231.322.3

Н. А. Колбасина, Н. В. Мерзликина, В. А. Титов

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТОРЦЕВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Показано, что результаты предыдущих работ по синтезу геометрии торцевой зубчатой передачи несовместимы с современными CALS-технологиями проектирования машин.

Полученная математическая модель передачи, на основе которой, используя возможности современных вычислительных пакетов, проведен синтез геометрии торцевой зубчатой передачи.

Ключевые слова: торцевая зубчатая передача, колесо, шестерня, геометрия.

В работе [1] показано, что одним из самых эффективных способов измельчения является измельчение в закрытом объеме при совместном воздействии на материал сжатия и сдвига. Наиболее полно этот способ реализуется в измельчителях, исполнительный механизм которых выполнен на основе торцевой зубчатой передачи (ТЗП).

Одним из основных моментов при создании таких измельчителей является проектирование геометрии ТЗП.

В [2] приведен анализ предыдущих работ по проектированию геометрии ТЗП, который выявил следующее:

– синтез геометрии выполнялся на основе метода профильных нормалей путем сочетания математических расчетов координат точек и построением по ним профиля вручную, хотя известен другой более эффективный метод, основанный на теореме Гофмана, но он не применялся из-за недостаточно развитого в то время программно-математического обеспечения;

– из-за особенностей метода профильных нормалей затруднен поиск рациональной геометрии, автоматический синтез профилей колес передачи;

– полученные ранее результаты по проектированию геометрии несовместимы с современными CALS-технологиями создания машин.

Таким образом, перед нами стала задача по реализации современного подхода к проектированию геометрии и созданию на основе ТЗП измельчителей материалов.

Как показано выше, существующие подходы к проектированию геометрии ТЗП не позволяют создать процессорные модули для вычислительных пакетов типа COSMOS, ANSYS и т. д., а также их использование в системах автоматического проектирования [3]. В работах [4; 5] рассматривается способ апроксимационного решения задач профилирования (как прямой, так и обратный) без вычисления нормалей и скоростей относительного движения по единому алгоритму для любых форм описания исходного профиля.

Используя методику, изложенную в работах [3–5], решим задачу по проектированию геометрии ТЗП.

Нахождение сопряженного профиля можно представить в виде схемы: известен (задан) рабочий профиль зубьев одного из колес ТЗП, требуется найти профиль зубьев сопряженного колеса. Он может быть задан аналитически или в виде последовательности точек. В последнем случае необходимо использовать сплайн-апроксимацию.

Составим свод формул для преобразования координат заданного исходного профиля зубьев одного из колес в координаты другого колеса передачи. При этом сложное движение представим в виде сочетания простейших движений: прямолинейного переноса и поворота координатных систем относительно друг друга.

Пусть зубья колеса выполнены с плоскими рабочими поверхностями, а шестерни – с выпуклыми поверхностями, которые характеризуются тем, что рабочие поверхности шестерни образованы кривой, сопряженной к линии – образующей рабочий профиль зубьев колеса.

После преобразований в координатной форме формулы перехода от системы колес S_k к системе шестерни S_{sh} примут следующий вид:

$$\begin{cases} x_{sh} = x_k \cos R\psi + y_k \sin R\psi - \alpha \sin \psi; \\ y_{sh} = -x_k \sin R\psi + y_k \cos R\psi - \alpha \cos \psi, \end{cases} \quad (1)$$

где $R = \frac{r_k}{r_{sh}} - 1$; $\alpha = r_k - r_{sh}$ – межосемое расстояние; r_{sh} – делительный радиус шестерни; r_k – делительный радиус колеса; ψ – угол обката шестерни; x_{sh}, y_{sh} – координаты любой точки профиля колеса в системе координат шестерни; x_k, y_k – координаты любой точки профиля колеса в системе координат колеса.

Для простоты будем рассматривать данную задачу как плоскую – в сечении, перпендикулярном осям вращения колеса и шестерни при заданном значении высоты зуба колеса, например в среднем сечении. Схема преобразования систем координат колеса в систему координат шестерни в процессе обката показана на рис. 1. При условии обката по делительным окружностям колеса и шестерни без проскальзывания, ψ – угол обката шестерни, ϕ – угол обката колеса.

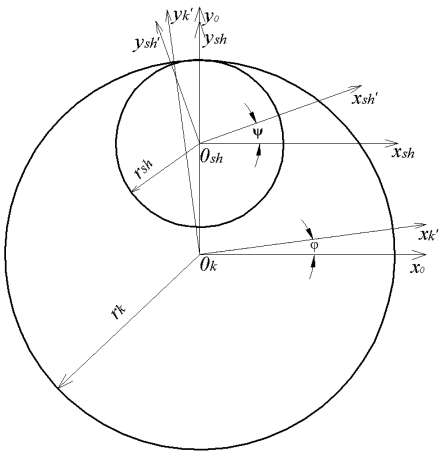


Рис. 1. Преобразование систем координат колеса и шестерни в процессе обката

Радиус обката принимается равным делительному радиусу шестерни. Чтобы получить реальный боковой профиль зуба необходимо найти огибающую семейства траекторий. За исходный профиль возьмем правую половину зуба колеса (рис. 2).

Формула линии профиля зуба колеса в системе координат колеса в параметрическом виде выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} x_k = u \cdot \mathrm{tg}\alpha + r_k\left(\sin\beta - \cos\beta \cdot \mathrm{tg}\alpha\right); \\ y_k = u, \end{cases} \tag{2}$$

где u – вспомогательный параметр; α – угол профиля зуба колеса; β – угол, соответствующий длине дуги, равной половине ширины зуба колеса.

Уравнения кривой рабочей части профиля зуба шестерни, являющейся сопряженным профилем к профилю зуба колеса в параметрической форме имеет вид

$$\begin{cases} x_{sh}(\psi) = r_k \sin(\alpha-\beta)\cos(R\psi+\alpha) + \\ + \frac{a}{R}\sin(R\psi+\alpha)\cos(R\psi+\alpha-\psi) - a\sin\psi; \\ y_{sh}(\psi) = -r_k \sin(\alpha-\beta)\sin(R\psi+\alpha) + \\ + \frac{a}{R}\cos(R\psi+\alpha)\cos(R\psi+\alpha-\psi) - a\cos\psi, \end{cases} \tag{3}$$

где ψ – основной варьируемый параметр – угол обката, радиус обката принимается равным делительному диаметру шестерни; α – угол профиля зуба колеса.

Для поиска точки сопряжения между кривыми, образующими профиль зуба и его выкружки необходимо решить систему следующих уравнений:

$$x_b^2 + y_b^2 = r_{kb}^2;$$

$$\begin{cases} x_b(\psi) = x_p(un)\cdot\cos(R\psi) + \\ + y_k(un+a)\cdot\sin(R\psi) - a\sin(\psi); \\ y_b(\psi) = -x(un)\cdot\sin(R\psi) + \\ + y_k(un+a)\cdot\cos(R\psi) - a\cos(\psi); \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{cases} x_p(u) = u\cdot\mathrm{tg}\alpha + P_1; \\ y_p = u - a, \end{cases}$$

где

$$P_1 = r_k\left(\sin\beta - \cos\beta\right)\cdot\mathrm{tg}\alpha;$$

$$x_{1,2} = \frac{-2\cdot c_1 y_p(un+a) \pm 2x_p(un)\cdot\sqrt{x_p^2(un) + y_p^2(un) - c_1^2}}{2\cdot\left[x_p^2(un) + y_p^2(un+a)\right]};$$

$$c_1 = \frac{r_{kb}^2 - x_p^2(un) - y_p^2(un+a) - a^2}{2\cdot a};$$

$$\psi = \frac{\arccos(x_{1,2})}{R-1}.$$

Для точки пересечения профиля зуба с окружностью вершин следует решить систему уравнений:

$$x_b^2 + y_b^2 = r_{ka}^2;$$

$$\begin{cases} x_{sh}(\psi) = \left[\cos(R\psi+a)\cdot P_1 + \frac{a}{R}\sin(R\psi+a)\cdot P_2(\psi)\right]\times \\ \times\cos(\alpha) - a\sin\psi; \\ y_{sh}(\psi) = \left[-\sin(R\psi+a)\cdot P_1 + \frac{a}{R}\cos(R\psi+a)P_2(\psi)\right]\times \\ \times\cos(a) - a\cos\psi; \end{cases} \tag{5}$$

$$P_2 = \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin(\psi - R\psi) + \cos(\psi - R\psi);$$

$$x_{1,2} = \frac{2a\cdot\cos\alpha\cdot P_1 \pm 2a\cdot\sqrt{P_1^2\cos^2(\alpha) - \frac{(1-2R)}{R^2}\cdot c^2}}{2\cdot\frac{a^2}{R^2}(1-2R)},$$

где $c_2 = r_{ka}^2 - P_1^2\cos(a) - \frac{a^2}{R_2^2}(1-2R)^2$;

$$\psi = \frac{\arcsin(x_{1,2}) + a}{1-R}.$$

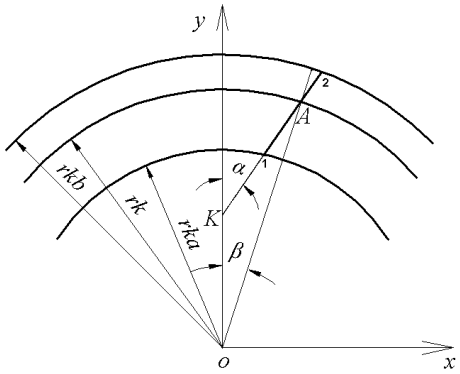


Рис. 2. Профиль зуба колеса в среднем сечении в системе координат колеса

Графики траекторий точек колеса и шестерни в зацеплении, полученные по описанным выше формулам, представлены на рис. 3.

На основе произведенных расчетов было синтезировано зацепление шестерни и колеса (рис. 4).

Рассмотренная выше методика проектирования ТЗП позволяет получить разнообразные варианты сочетаний сопряженных профилей и выбрать из нихнаиболее рациональный, например, по критерию технологичности.

Библиографические ссылки

1. Титов В. А., Василенко Н. В. Реализация способа экструзионного измельчения в дезинтеграторах на основе торцевой зубчатой передачи // Проблемы машиностроения и автоматизация. 2007. № 1. С. 115–115.

2. Титов В. А. Состояние вопроса и подход к проектированию торцевых зубчатых передач для дезинтеграторов // Машиностроение : сб. науч. ст. / отв. ред. Е. Г. Синенко. Красноярск : ИПК СФУ. 2008. С. 52–57.

3. Усаков В. И., Колбасина Н. А., Скорняков С. Н. Использование сплайнов для апроксимакции реальных поверхностей при проектировании зубчатых // Качество продукции машиностроения : тез. докл. научн.-практ. конф. Красноярск, 1998. С. 106–107.

4. Понкратов Ю. М. Апроксимационное профилирование обкатных инструментов // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 1999. № 3 (17). С. 72–75.

5. Колбасина Н. А. Способ получения функций, описывающих профили зубьев, нарезаемых стандартным инструментом на типовом оборудовании // Транспортные средства Сибири : сб. тр. – Вып. 8. Красноярск, 2002. С. 577–588.

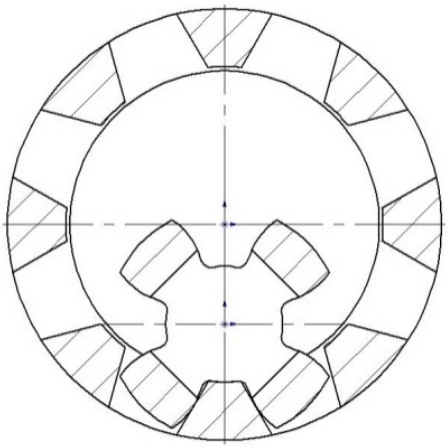


Рис. 4. Синтезированное зацепление шестерни и колеса в среднем сечении

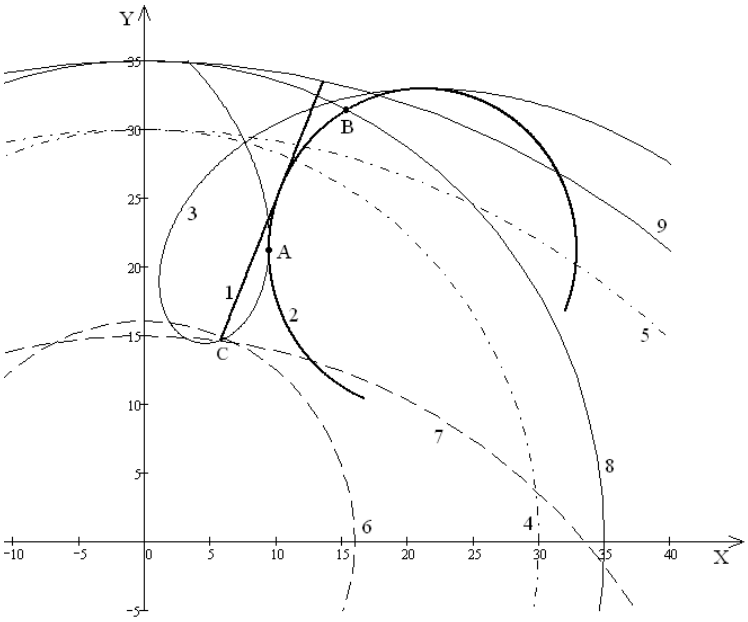


Рис. 3. Траектории в зацеплении: *1* – правый профиль зуба колеса; дуга АВ – левый профиль зуба шестерни; *2* – дуга, огибающая, образующая сопряженный профиль шестерни; *3* – траектория движения вершины профиля зуба колеса при обкате; *4* – делительная окружность для шестерни; *5* – делительная окружность для колеса; *6* – окружность впадин для шестерни; *7* – окружность впадин для колеса; *8* – окружность вершин для шестерни; *9* – окружность вершин для колеса

N. A. Kolbasina, N. V. Merzlikina, V. A. Titov

MODERN APPROACH TO THE FACE TOOTH GEARING AND RAW MATERIALS GRINDING

Shown that the results of previous work on the synthesis of the geometry of face gear drive is incompatible with modern CALS-technologies designing machines.

This mathematical model of transmission, on the basis of which use the capabilities of modern computer packages reviewed synthesis of the geometry of face gear.

Keywords: face tooth gearing wheel, gear, geometry.

© Колбасина Н. А., Мерзликина Н. В., Титов В. А., 2010

УДК 658.1

В. А. Колмыков, М. А. Рагозина

КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на формирование и реализацию производственной программы предприятий оборонно-промышленного комплекса в современных экономических условиях, проведена их систематизация, в ходе которой выявлена полифункциональность деятельности объекта исследования.

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс, производственная программа предприятия, факторы, влияющие на формирование и реализацию производственной программы предприятия, полифункциональность.

Оборонно-промышленный комплекс (ОПК) является генератором передовых научных, технических, технологических достижений и разработок, позволяющих создавать не только технику высокого уровня сложности, но и наукоемкую продукцию конверсионного назначения. На сегодняшний день созданы реальные условия для перехода новых знаний и технологий из оборонного сектора экономики в гражданский и наоборот. Результаты исследований и практика наиболее развитых стран показывают, что до 50–60 % оборонных научных разработок и технологий имеют применимость и высокую эффективность при производстве наукоемкой конверсионной продукции, а ее внедрение в гражданский сектор усиливает его конкурентоспособность на мировом рынке.

Дальнейшее развитие ОПК ориентировано на решение приоритетных государственных задач на долгосрочную перспективу и требует разработки и внедрения принципиально новых технологических решений, создания все более сложной техники, а использование достижений этой сферы в конверсионных производствах будет способствовать повышению технологического уровня экономики в целом.

Необходимость инновационного развития предприятий комплекса предъявляет новые требования к содержанию, организации и методам формирования производственной программы предприятия (ППП). Достижение этой цели на уровне комплекса и конкретного предприятия возможно только на основе учета всех факторов, определяющих эффективность внутрифирменного планирования.

Выявленные и систематизированные в рамках проведенного исследования факторы, влияющие на формирование производственной программы предприятий ОПК, касаются всех сфер деятельности хозяйствующего субъекта и сгруппированы по следующим сферам их проявления:

– маркетинговой;
– научно-технической;
– производственной;
– материально-технического обеспечения;
– финансовой;
– управления персоналом;
– организационной.

На базе обобщения имеющихся точек зрения специалистов и собственных исследований авторами выделены факторы, оказывающие влияние на формирование производственной программы предприятий ОПК, и осуществлена их классификация [1]. При этом классификационные признаки были определены исходя из особенностей функционирования предприятий ОПК и планирования производственной программы (см. таблицу). Это позволило структурировать наиболее значимые факторы формирования ППП по следующим классификационным признакам: месту возникновения события (внешние, внутренние), характеру связи (детерминированные, стохастические), степени управляемости (управляемые, неуправляемые), степени влияния (значимые, незначимые), возможности прогнозирования (прогнозируемые, внезапные).

Рассмотрим подробнее факторы формирования ППП в соответствии с предложенной классификацией.

1. Маркетинговая сфера.

1.1. Размеры и доля рынка. Данный фактор характеризует рынки, на которых будет осуществляться реализация продукции, как оборонного назначения, так и конверсионного.

1.2. Развитость рыночной инфраструктуры. Данный фактор характеризует налаженные связи с потребителем. Со стороны оборонного производства потребитель – государство. Предприятия ОПК имеют жесткую специализацию, что обусловливает выбор предприятия государством, исходя из его специализации. В связи с этим рыночная инфраструктура со стороны оборонного производства достаточно развита. Связь предприятия с потребителем конверсионной продукции не всегда четко определена. Как правило, потребитель определяется в процессе текущей деятельности, что и обусловливает неразвитость рыночной инфраструктуры со стороны конверсионной продукции. Наибольшую значимость этот фактор будет иметь при формировании производственной программы предприятия в условиях неопределенности.

1.3. Уровень конкуренции на рынке. Фактор конкуренции важен как для оборонной, так и для конверсионной продукции предприятий ОПК, которая не может быть реализована на традиционных рынках оборонных предприятий.

1.4. Номенклатура продукции. Фактор, который оказывает непосредственное влияние на производственную программу предприятия, поскольку от номенклатуры и структуры выпускаемой продукции зависит использование всех имеющихся ресурсов предприятия, в частности: основных производственных фондов, материальных, трудовых и финансовых ресурсов.

1.5. Конкурентоспособность продукции. Фактор характеризует продукцию, выпускаемую предприятиями ОПК как оборонного, так и конверсионного назначения с точки зрения ее качественных характеристик, которые

включают технические и экономические параметры. Производственная программа предприятия должна формироваться исходя из конкурентоспособности продукции с целью обеспечения эффективности использования всех имеющихся ресурсов предприятия. Данный фактор важен с точки зрения обеспечения непрерывного финансирования производственной деятельности, а также разработок НИОКР.

1.6. Уровень цен на рынке. Данный фактор характеризует ценовую политику государства в части государственного оборонного заказа и ценовую политику самого предприятия на рынке конверсионной продукции,

Классификация факторов, влияющих на формирование производственной программы предприятий ОПК

Сфера проявления	Факторы	По месту возникновения события		По характеру связи		По степени управляемости		По степени влияния		По возможности прогнозирования	
		Внешние (макро)	Внутренние (микро)	Детерминированные	Стохастические	Управляемые	Неуправляемые	Значимые	Незначимые	Прогнозируемые	Внезапные
Маркетинговая	Размеры и доля рынка	*		*			*	*		*	
	Развитость рыночной инфраструктуры	*		*			*	*		*	
	Уровень конкуренции на рынке	*		*			*	*		*	
	Номенклатура продукции		*	*		*		*		*	
	Конкурентоспособность продукции		*	*		*		*		*	
	Уровень цен на рынке	*			*		*	*			*
	Динамика изменений внешней среды	*			*		*	*			*
Научно-техническая	Наукоемкость продукции		*	*		*		*		*	
	Наукоемкость технологии производства		*	*		*		*		*	
	Наличие новых конкурентоспособных разработок		*		*	*		*			*
	Объем финансирования НИОКР		*	*		*		*		*	
Производственная	Ориентация производства на выпуск оборонной и конверсионной продукции		*	*		*		*		*	
	Уровень специализации оборудования		*	*			*	*		*	
	Степень универсальности оборудования		*	*			*	*		*	
	Длительность производственного цикла		*	*		*			*	*	
	Уровень загрузки производственных мощностей		*	*		*		*		*	
	Уровень износа основных производственных фондов		*	*		*		*		*	
Материально-технического обеспечения	Наличие и стабильность хозяйственных связей с предприятиями-поставщиками	*		*			*	*		*	
	Наличие запасов сырья и материалов		*	*		*			*	*	
	Размеры складских помещений и условия хранения		*	*		*		*		*	
	Ценовая политика предприятий-поставщиков	*			*		*	*			*
Финансовая	Высокая зависимость от государственного финансирования	*		*			*	*		*	
	Уровень кредитоспособности		*	*		*		*		*	
	Условия привлечения финансовых ресурсов	*			*		*		*		*
	Уровень инфляции	*			*		*	*			*
	Рентабельность активов		*	*		*		*		*	
Управления персоналом	Уровень обеспеченности персоналом по категориям и профессиям		*	*		*		*		*	
	Уровень квалификации		*	*		*		*		*	
	Текучесть кадров		*		*	*		*		*	
	Система вознаграждений		*		*	*		*		*	
Организационная	Ориентация организационной структуры предприятия на выполнение заказов		*	*		*		*		*	
	Эффективность менеджмента		*	*		*		*		*	

исходя из требований рынка и возможностей предприятия.

1.7. Динамика изменений внешней среды. Данный фактор важен с точки зрения предвидения изменений формирования производственной программы предприятия, в зависимости от изменений внешней среды предприятия ОПК.

2. Научно-техническая сфера.

2.1. Наукоемкость продукции. Данный фактор предполагает наличие новых качественных характеристик производимой продукции, что отличает его от существующих продуктов-аналогов (субститутов). Создание наукоемкой продукции требует большого количества НИОКР, которые реализуются в течение достаточно длительного периода времени и порождает высокий уровень затрат на производство.

2.2. Наукоемкость технологии производства. Наукоемкость продукции создает необходимость разработки новой технологии производственного процесса, что, в свою очередь, также требует большого количества НИОКР, длительного периода времени и является затратным процессом. Данный фактор необходимо учитывать с целью обеспечения эффективного планирования производственной программы предприятия.

2.3. Наличие новых конкурентоспособных разработок. Новые конкурентоспособные разработки характеризуют результат использованных финансовых средств на НИОКР и являются показателем конкурентоспособности самого предприятия на рынке и залогом эффективности его хозяйственной деятельности.

2.4. Объем финансирования НИОКР. При формировании производственной программы ОПК финансирование НИОКР имеет приоритетное значение, поскольку для обеспечения гособоронзаказа (ГОЗ) необходимо постоянное проведение данного вида работ. Недостаточное финансирование НИОКР влечет за собой снижение конкурентоспособности предприятия и отражается на обороноспособности страны.

3. Производственная сфера.

3.1. Ориентация производства на выпуск оборонной и конверсионной продукции. Фактор, определяющий особенности производственного процесса предприятий оборонно-промышленного комплекса и контроля за его осуществлением. Важность данного фактора связана с особыми условиями деятельности предприятий ОПК. Имея перед государством обязательство по выполнению гособоронзаказа, предприятия ОПК обязаны поддерживать производство в рабочем состоянии, не допуская радикальных изменений установившихся процессов. Это является главным обстоятельством, не позволяющим предприятиям развивать гражданское производство за счет преобразования основного. Исходя из этого, производство гражданской продукции ограничивается лишь частичным наложением объемов на избытки мощностей, что учитывается при формировании ППП ОПК.

3.2. Уровень специализации оборудования. Данный фактор определяет функциональную возможность использования оборудования на предприятиях, исходя из особенностей конструкции производимой продукции и типа производства, и является одним из определяющих при формировании производственной программы любого предприятия оборонно-промышленного комплекса.

3.3.Степень универсальности оборудования. Фактор, определяющий технологическую возможность использования производственных мощностей предприятия для производства модифицированного, технологически связанного или нового продукта. Базовые технологии предприятий ОПК определяются их специализацией. Исходя из этого, та продукция, технология производства которой накладывается на базовые технологии предприятий по максимуму, входит в круг их стратегических интересов. Как показывает практика (опыт ОАО «Красмаш»), объективно и экономически обоснованный нижний предел данного критерия оценки составляет 30 %.

3.4. Длительность производственного цикла. Отражает характерные черты процесса производства, оказывает непосредственное влияние на степень использования производственных мощностей и объемы выпускаемой продукции.

3.5. Уровень загрузки производственных мощностей. Данный фактор определяет возможность дозагрузки существующих производственных мощностей предприятия с целью увеличения объемов производства, не наращивая количество производственных мощностей. Данный фактор особенно важен при внутрифирменном планировании, предполагающем сохранение конструкторско-технологической или, по крайней мере, технологической связи между оборонным и конверсионным производством.

3.6. Уровень износа основных производственных фондов. Уникальность продукции и технологии ее производства требует постоянного обновления основных производственных фондов с целью обеспечения конкурентоспособности продукции, эффективности деятельности предприятия и защиты стратегических интересов страны. Высокая изношенность основных производственных фондов приводит к увеличению затрат на ремонт оборудования, снижению качества выпускаемой продукции и срыву производственной программы предприятия.

4. Материально-техническое обеспечение.

4.1. Наличие и стабильность хозяйственных связей с предприятиями-поставщиками. Данный фактор определяет возможность расширения сотрудничества с существующими поставщиками с точки зрения возможного увеличения объема поставок материальных и технических средств с учетом интересов производства. Характеризует потенциал поставщиков в части возможности поставки материальных и технических средств с целью производства новых или модифицированных продуктов.

4.2. Наличие запасов сырья и материалов. Данный фактор определяет возможность использования нормативных запасов, соответствующих предъявляемым требованиям, для производства государственного оборонного заказа, а также модифицированного, технологически связанного или нового продукта гражданского назначения.

4.3. Размеры складских помещений и условия хранения. Фактор важен с точки зрения возможности использования складских помещений не только для нужд основного направления деятельности оборонного предприятия, но и для обеспечения складскими площадями конверсионного производства. Причем необходимо учитывать как объем

данных площадей, так и условия, которые они обеспечивают для хранения сырья и готовой продукции.

4.4. Ценовая политика предприятий-поставщиков. Оборонно-промышленный комплекс традиционно приобретал товарно-материальные ценности у определенных отечественных поставщиков, что ограничивало возможности по использованию более современных, передовых материалов, инструментов, деталей. В современных условиях важно оценить рынок возможных поставщиков товарно-материальных ценностей на основе всестороннего анализа конкурентоспособности предлагаемых поставок. Для конверсионного производства рассматриваемый фактор важен с точки зрения возможности замены поставщиков оборонного предприятия на более надежных и гибких в ценовой политике, если это возможно, как с технической, так и с управленческой точки зрения.

5. Финансовая сфера.

5.1. Высокая зависимость от государственного финансирования. Характер финансирования государственного оборонного заказа важен с точки зрения стабильности обеспечения производственной программы финансовыми ресурсами. При этом предполагается их соответствующее распределение между всеми объектами планирования с целью достижения эффективного функционирования производства.

5.2. Уровень кредитоспособности. Данный фактор представляется важным в случае привлечения к реализации проекта по созданию и последующему производству наукоемких продуктов внешних инвесторов. В связи с особенностями ОПК в части его «закрытости», интерес представляют, преимущественно, отечественные инвесторы в лице крупных государственных компаний или компаний со смешанной структурой капитала (частно-государственных).

5.3. Условия привлечения финансовых ресурсов. Для функционирования и развития бизнеса требуются финансовые ресурсы. Частично источниками финансовых ресурсов, направляемых на развитие, служат средства государственного оборонного заказа. Необходимо также привлечение внешнего финансирования, при этом, в первую очередь, государственного, что может быть осуществлено в рамках прямых инвестиций либо в виде поддержки, в том числе и путем субсидирования процентных ставок по кредитам, предоставляемым на развитие новых бизнесов.

5.4. Уровень инфляции. Существующие ограничения по объему финансирования при высоком уровне инфляции приводят к удорожанию производимой продукции и снижению суммы прибыли, что отражается на основных экономических показателях деятельности предприятия, снижает темпы расширенного воспроизводства и, соответственно, возможности предприятия по дальнейшему развитию. Данный фактор важен в плане финансовой устойчивости предприятий ОПК и должен учитываться при формировании ППП.

5.5. Рентабельность активов. Выполнение производственной программы направлено на достижение установленных экономических показателей, основным из которых является рентабельность активов. Это своего рода целевой показатель, характеризующий эффективность использования всех имеющихся ресурсов предприятия, независимо от источника их привлечения.

6. Управление персоналом.

6.1. Уровень обеспеченности персоналом по категориям и профессиям. Данный фактор особенно актуален для организаций с высокой долей интеллектуального капитала, что характерно для наукоемких предприятий, которыми являются предприятия оборонно-промышленного комплекса. Этот фактор определяет обеспеченность предприятия персоналом по категориям и профессиям, а также потребность в дополнительных трудовых ресурсах или отсутствие таковой. От этого, в свою очередь, зависит выполнение производственной программы, успех, как функционирования, так и последующего развития предприятия.

6.2. Уровень квалификации. Наукоемкие предприятия нуждаются в квалифицированных трудовых ресурсах, что обусловливает его высокую значимость фактора при формировании и выполнении ППП. Данный фактор определяет возможность привлечения к производственному процессу высококвалифицированных кадров.

6.3. Текучесть кадров. Фактор является показателем обеспеченности предприятия персоналом и представляется важным в связи с проблемами, с которыми сталкиваются на современном этапе предприятия оборонно-промышленного комплекса. В частности, следствием сокращения государственного заказа предприятиям оборонно-промышленного комплекса стал уход работников на другие предприятия из-за отсутствия стабильного финансирования и низкой оплаты труда. В этой связи для высококвалифицированного персонала наукоемких производств необходимо создание соответствующих условий труда и его оплаты с целью недопущения высокого показателя текучести кадров и обеспечения своевременного выполнения производственной программы предприятия.

6.4. Система вознаграждений. Этот фактор необходимо учитывать в связи с тем, что формы и системы оплаты труда и вознаграждений в значительной степени определяют поведение работников, поскольку материальное благосостояние для большинства является основным критерием выбора места работы.

7. Организационная сфера.

7.1. Ориентация организационной структуры предприятия на выполнение заказов. Приоритетность гособоронзаказа ориентирует организационную структуру предприятия на четкую реализацию бизнес-процессов по их выполнению и предъявляет высокие требования к работе структурных подразделений, задействованных в производственном процессе.

7.2. Эффективность менеджмента. Достижение целевых показателей через выполнение производственной программы характеризует эффективность менеджмента. Данный фактор показывает, насколько менеджмент предприятия готов к возникающим изменениям во внешней и внутренней среде и способен принимать решения в условиях неопределенности.

По признаку «место возникновения события» факторы, влияющие на формирование производственной программы предприятий ОПК, были разделены на два вида – внешние и внутренние. К внутренним факторам, в пер-

вую очередь, относятся факторы из таких выделенных групп, как «научно-техническая», «производственная», «управление персоналом» и «организационная».

Факторы из оставшихся двух групп: «маркетинговая», «финансовая» – определяются, преимущественно, внешней средой. Внутренними факторами в данных группах можно назвать только такие, как «номенклатура продукции», «конкурентоспособность продукции» (группа «маркетинговая»), «уровень кредитоспособности» и «рентабельность активов» (группа «финансовая»).

Также к внутренним относятся следующие факторы из группы «материально-техническое обеспечение»: «наличие запасов сырья и материалов» и «размеры складских помещений и условия хранения». Внешними являются «наличие и стабильность хозяйственных связей с предприятиями-поставщиками» и «ценовая политика предприятий-поставщиков».

Группировка факторов на внутренние и внешние позволила сформировать систему показателей, составляющих базу для принятия решений в рамках планирования ППП.

Классификационный признак «по характеру связи» позволил определить характер влияния и разделить факторы на детерминированные и стохастические. Неопределенность характерна для факторов из таких групп как «маркетинговая» (факторы «уровень цен на рынке» и «динамика изменений внешней среды»), «материально-техническое обеспечение» (фактор «ценовая политика предприятий-поставщиков»), «финансовая» (факторы «условия привлечения финансовых ресурсов» и «уровень инфляции»). Стоит отметить, что группы «научно-техническая» (фактор «наличие новых конкурентоспособных разработок») и «управления персоналом» (факторы «текучесть кадров» и «система вознаграждений») представлены внутренними факторами неопределенности. В целом, большинство выделенных факторов являются детерминированными, что ставит под сомнение использование стохастических методов принятия решения.

По признаку «степень управляемости» факторы, влияющие на формирование ППП ОПК, также разделены на два вида – управляемые и неуправляемые. В группе «маркетинговая» большая доля факторов относится к неуправляемым, управляемыми являются факторы «номенклатура продукции» и «конкурентоспособность продукции». Группа «научно-техническая» является полностью управляемой. В группе «производственная» основная часть факторов относится управляемым, за исключением факторов «уровень специализации оборудования» и «степень универсальности оборудования», которые относятся к неуправляемым. Среди выделенных к управляемым можно отнести факторы из группы «материально-техническое обеспечение», за исключением факторов «наличие и стабильность хозяйственных связей с предприятиями-поставщиками» и «ценовая политика предприятий-поставщиков», что объясняется мировым финансовым кризисом. В группе «финансовая» большинство факторов отнесено к неуправляемым, за исключением факторов «уровень кредитоспособности» и «рентабельность активов», что связано с особенностями предприятий ОПК. Кроме того, неуправляемость в процессе формирования производственной программы определяется влиянием внешней среды, регулирование которой связано со значительными сложностями или вообще невозможно. В группе «управление персоналом» все факторы относятся к управляемым. Организационные факторы являются управляемыми, что определяется возможностью менеджеров активно участвовать в процессе формирования производственной программы предприятия. Разделение факторов по степени управляемости позволило определить группу показателей, на которую может быть направлено управляющее воздействие.

По признаку «степень влияния» факторы, влияющие на формирование производственной программы предприятий ОПК, разделены нами на два вида – значимые и незначимые. К незначимым относятся следующие факторы: «длительность производственного цикла», «наличие запасов сырья и материалов» и «условия привлечения финансовых ресурсов». Таким образом, большинство факторов являются значимыми при формировании производственной программы предприятий ОПК.

По признаку «возможность прогнозирования» факторы, влияющие на формирование производственной программы предприятий ОПК, разделены на два вида – прогнозируемые и внезапные.

В целом, большинство выделенных факторов являются прогнозируемыми, так как полностью зависят от собственника предприятий оборонно-промышленного комплекса – государства. Именно оно определяет объемы финансирования как функционирования предприятий ОПК (реализация ГОЗ), так и проводимых мероприятий по формированию производственной программы. Внезапными могут быть факторы «уровень цен на рынке» и «динамика изменений внешней среды» (группа «маркетинговая»), «наличие новых конкурентоспособных разработок» (группа «научно-техническая), «ценовая политика предприятий-поставщиков» (группа «материально-технического обеспечения), «условия привлечения финансовых ресурсов» и «уровень инфляции» (группа «финансовая»).

Оборонно-промышленный комплекс России является промышленной основой обеспечения обороны и безопасности нашего государства, оснащения Вооруженных сил современными видами вооружения и военной техники. Наряду с этим ОПК является производителем гражданской продукции. Проведенная систематизация факторов продемонстрировала необходимость рассматривать предприятия ОПК как полифункциональные системы, выделяя их основные функции, так как это необходимо для определения производственной программы. Формирование и реализацию производственной программы предприятия следует относить к стратегически важным управленческим решениям.

Библиографическая ссылка

1. Царев В. Внутрифирменное планирование : учебник для вузов. СПб. : Питер, 2002.

V. A. Kolmykov, M. A. Ragozina

CLASSIFICATION OF FACTORS HAVING INFLUENCE ON FORMATION OF INDUSTRIAL PROGRAM OF ENTERPRISES OF DEFENSE INDUSTRY COMPLEX

The article deals with the factors influencing the formation and realization of industrial program of defense industry complex enterprises in modern economical conditions. We carried out systematization of the factors, which revealed multifunctionality of activity of the object of the research.

Keywords: defense industrial complex, industrial program of enterprises, factors influencing formation and realization industrial program of enterprises, multifunctionality.

© Колмыков В. А., Рагозина М. А., 2010

УДК 332.1

М. В. Дмитриевских, А. А. Татьянкина, Т. А. Шиндина

ИННОВАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА РЕГИОНА: СУЩНОСТЬ, СОСТАВ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Актуальность данной статьи обусловлена тем фактом, что экономическая политика Российской Федерации ориентирована на развитие инновационной деятельности. Приведены причины необходимости создания инновационных инфраструктур в регионах, выделены их базисные элементы, описаны интересы основных субъектов инновационной деятельности. Представлен пример создания и функционирования инновационной инфраструктуры в Челябинской области. Выделены основные задачи, которые должны решаться в процессе формирования инновационной инфраструктуры, указаны социально-экономические аспекты ее развития, а также сформулирован ряд проблем, сопряженных с созданием подобной инфраструктуры в регионе и предложены пути для их решения.

Ключевые слова: инновационная инфраструктура региона, социально-экономические аспекты ее развития, технопарковые структуры, инновационный процесс, инновационная деятельность.

На сегодняшний день, согласно долгосрочной концепции развития Российской Федерации, политика государства направлена на активизацию инновационной деятельности. Именно инновационная деятельность способна обеспечить устойчивую динамику экономического роста за счет выпуска конкурентоспособной наукоемкой продукции.

Для достижения поставленных целей в ближайшие годы должны быть созданы региональные инновационные системы, на базе которых сформируется национальная инновационная система. Безусловно, в связи с этим принципиально важным является развитие инновационной сферы в регионах, формирование региональной инновационной стратегии, совершенствование механизмов федеральной и региональной поддержки инновационной деятельности и наличие благоприятной экономической и правовой среды для деятельности инновационных предприятий. Для решения поставленных задач необходимо планомерно создавать и развивать инновационную инфраструктуру регионов.

В качестве базисных элементов инфраструктуры можно рассматривать различные формы технопарковых структур, а именно: научные, технологические и исследовательские парки, центры трансферта технологий, бизнес-инкубаторы и технопарки. Последние две формы получили наибольшее распространение и, на наш взгляд, могут считаться основными. И инкубаторы, и технопарки предназначены для содействия развитию инновационных предприятий. Принципиальным различием между ними является стадия жизненного цикла предприятия, пользующегося их услугами. Инкубаторы, что логически вытекает из названия, предназначены для предприятий, находящихся на стадии создания и развития, или так называемой «молодости». По большей части, инкубаторы служат для предоставления информационных и консультационных услуг, а также передают в аренду помещения и оборудование, необходимые предприятиям на первоначальном этапе. Как правило, инкубаторы располагаются в одном или нескольких зданиях. Услугами технопарков пользуются малые и средние инновационные предприятия, находящиеся на различных стадиях коммерческого освоения научных знаний, ноу-хау и наукоемких технологий, т. е. предприятия, которые ведут самостоятельную деятельность и относятся к так называемым стадиям «рассвета» и «зрелости». Обычно в структуре технопарка представлены инновационно-технологический центр, учебный центр, консультационный центр, информационный центр, маркетинговый центр и промышленная зона, что отражает специфику оказываемых им услуг. В качестве структурного подразделения в состав технопарка может входить и инкубатор.

Технопарковые структуры, являющиеся базовыми элементами инновационной структуры региона, – форма интеграции науки и промышленности. Они представляют интерес для различных субъектов инновационной деятельности:

– с точки зрения представителей научной среды являются площадками для развития, внедрения и, в конечном итоге, коммерциализации научных разработок и изысканий;

– с точки зрения представителей бизнес-среды содействуют развитию предприятия на различных этапах, формируют благоприятную среду для их функционирования;

– с точки зрения государства концентрация инновационных предприятий в нескольких крупных точках облегчает процесс контроля за их деятельностью, отслеживание целевого использования предоставленных средств, а также возможность создания для инновационных предприятий определенных льготных условий, соучастие в финансировании деятельности технопарков и инкубаторов.

Формирование инновационной системы представляет собой важную стратегическую задачу, решение которой позволит осуществить качественные сдвиги в структуре и технологии производства региона. Важным шагом является формирование правовой базы в данной области. Так, например, в Челябинской области, законодательная база в сфере инноваций представлена региональными актами об инновационной деятельности, а также различными законами, связанными со стимулированием инновационной деятельности, предоставлением льгот по налогам, возмещением части расходов и постановлениями Правительства Челябинской области, связанными с проведением различных конкурсов и грандов, созданием инкубаторов на территории области.

Из функционирующих на территории Челябинской области объектов инновационной инфраструктуры наиболее значимыми являются НП «Технопарк Юургу-Полет», НП «Инновационный технопарк МГТУ», ОГУ «Инновационный бизнес-инкубатор Челябинской области», НП «Магнитогорский инновационный бизнес-инкубатор», Венчурный фонд. Большое значение имеет наличие организаций академической и отраслевой науки, на территории Челябинской области действуют 32 учреждения отраслевой науки. Кроме того, играет свою роль и сосредоточение на территории региона высших учебных заведений, осуществляющих подготовку высококвалифицированных специалистов по техническим и другим специальностям, что обеспечивает рост научного потенциала региона.

Важным фактором развития инновационной инфраструктуры региона является инновационный процесс, который состоит из двух взаимосвязанных элементов: технологического процесса, т. е. создания инновационного продукта и налаживания его производства, а также социально-экономических факторов, которые обеспечивают возможность и характер его успешного функционирования в конкретных условиях определенного общества.

Социальная инфраструктура представляет ту ее часть, которая направлена не на развитие производства непосредственно (как, например, средства и предметы труда), а на развитие человека, его социальных отношений. Виды социальной инфраструктуры соответствуют видам деятельности (социальная инфраструктура трудовой деятельности, образования, культуры, науки и т. д.).

Но для создания, производства и распространения инноваций нужны не только развитые сферы образования, науки и производства, способного воспринимать ее достижения, и потребитель его продукции, но и стимулы, побуждающие людей создавать и вводить инновации в действие, финансовые средства, благоприятные социальные условия и ориентация на научно-технический прогресс. Если эта ориентация положительная, то общество формирует инновационную систему, которая объединяет образование, науку и производство и включает в себя все компоненты структуры инновационного процесса, как научно-технологические, так и социально-экономические.

Тема инноваций рассматривается, главным образом, в экономическом контексте: преобладает проблематика, ориентированная на непосредственное практическое использование инноваций. Инновационная система включена в социально-экономическую систему общества, является ее подсистемой. Именно социально-экономическая инфраструктура инновационной системы позволяет реализовать открывающиеся технологические возможности и тем самым придает жизненность инновационному процессу. Ее формирование есть одно из выражений появившейся у общества потребности в инновациях.

Следует особо обратить внимание, что создание технопарков, технологических инкубаторов малого бизнеса способствует не только экономическому благополучию региона, но и социальному, мы имеем новые формы и структуры интеграции высшего образования, науки, промышленности, предпринимательства, решаются вопросы занятости, кадрового обеспечения, снижается социальная напряженность общества.

Формирование инновационной региональной структуры предполагает решение следующих задач:

1. Развитие структур производственно-технологической поддержки инноваций. В этом направлении по-прежнему актуально создание уже апробированных структур – технопарков, бизнес-инкубаторов, инновационно-технологических центров. Эти организации распределены по территории региона крайне неравномерно, часть региональных субъектов не имеет их совсем. Выбор и обоснование важнейших направлений науки и техники создает условия для роста научно-технического потенциала региона и одновременно формирует основу модернизации его технической базы. Среди важнейших направлений исследований и разработок, уже выбранных другими регионами, можно назвать повышение эффективности использования природных ресурсов; обновление технологий в промышленности и сельском хозяйстве; здоровье населения, фармацевтика; создание новых технологий для получения собственных ниш на рынках наукоемкой продукции; разработка новых материалов и методов их обработки с учетом особенностей производства в регионе; организация управления социальным и экономическим развитием региона.

2. Развитие структур для продвижения на рынок инновационной продукции. Для решения этой задачи необходимо создание сегментов инфраструктуры, обеспечи-

вающих маркетинг, рекламную и выставочную деятельность, патентно-лицензионную работу и т. п. В работе по продвижению на рынок инновационной продукции существенную роль играет качественная экспертиза научно-технических программ и проектов. Именно она в значительной степени определяет успех новых продуктов на рынке и снижает вероятность необоснованных рисков при инвестициях. Поэтому в региональную инфраструктуру инновационной деятельности должны входить организации, оказывающие широкий спектр услуг в области стандартизации и сертификации.

3. Развитие структур информационного обеспечения региональной инновационной системы. Эти структуры должны представлять возможности доступа к базам данных и другим информационным ресурсам на взаимно согласованных условиях, в том числе коммерческих, для всех заинтересованных организаций различных организационно- правовых форм и форм собственности. Потребители должны получать информацию о рынке научных услуг, рынке инновационных продуктов и проектов, о технических проблемах предприятий региона. В свою очередь, органы власти должны использовать эту информацию для инвентаризации результатов научной деятельности, для оценки инновационного потенциала региона, для определения приоритетных направлений развития науки и техники в регионе.

4. Развитие инфраструктуры кадрового обеспечения инновационной деятельности в регионе. Совершенно очевидно, что решение задач создания инновационной системы регионов невозможно без привлечения высококвалифицированных и специально подготовленных для инновационной деятельности кадров. При этом необходима многоуровневая система подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов для инновационной деятельности. Такая система предусматривает подготовку специалистов с базовым направлением как основу «кадровой безопасности» инновационной сферы.

Процесс формирования инновационной инфраструктуры региона сопряжен с рядом различных проблем. В первую очередь, он требует достаточных временных и ресурсных затрат. Необходимость финансовой поддержки подразумевает участие органов государственной власти, а также поиск стратегических инвесторов. Появляется необходимость увеличения расходов регионального бюджета на развитие инновационной деятельности, а также введение дополнительных налоговых льгот для субъектов инновационной деятельности.

Нельзя не отметить повышенный риск ведения инновационного бизнеса в условиях нестабильности экономической ситуации в стране в целом. В связи с этим, необходимо разрабатывать и принимать законодательные акты в поддержку инновационной деятельности, а также связанные с защитой интеллектуальной собственности и интересов собственников инновационных предприятий.

Можно выделить несколько общих принципов, которыми, на наш взгляд, необходимо руководствоваться при создании инновационной инфраструктуры региона: она должна носить комплексный характер, оказывать услуги на всех этапах инновационного процесса; объектам инновационной инфраструктуры необходима координация действий при оказании услуг, а также необходимо взаимодействие с аналогичными организациями других субъектов РФ для обмена опытом; при формировании инфраструктуры следует опираться на отечественный и зарубежный опыт.

Таким образом, формирование инновационной инфраструктуры региона является сложной организационной и финансовой задачей.

M. V. Dmitrievskyh, A. A. Tatyankina, T. A. Shindina

CREATION OF AN INNOVATIVE INFRASTRUCTURE OF REGION

This article is actual because the economic policy of Russian Federation focuses on the development of innovation activity. The reasons of need for creation of innovative infrastructures in regions are given, the basic elements are allocated, and interests of the main subjects of innovative activity are described. The authors give an example of creation and functioning of an innovative infrastructure in Chelyabinsk area. The primary problems which should be solved in the process of formation of innovative infrastructure are allocated, social and economic aspects of its development are indicated, and a set of problems connected with creation of a similar infrastructure in this region is formulated and ways for their decision are suggested.

Keywords: innovative infrastructure of region, social and economic aspects of development, techno-park structures, innovative process, innovative activity.

© Дмитриевских М. В., Татьянкина А. А., Шиндина Т. А., 2010

УДК 330.332

Е. В. Смирнова, М. Ю. Жуков

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА

Рассматриваются проблемы оценки инвестиционной привлекательности региона. Показано значение инвестиционной привлекательности с точки зрения привлечения инвестиций в регион. Выявлена взаимосвязь инвестиционной привлекательности с различными характеристиками развития региональной социально-экономической системы.

Ключевые слова: инвестиционная привлекательность, инвестиции, регион.

Актуальность проблем оценки и управления инвестиционной привлекательностью объектов инвестирования обусловлена критической важностью капитальных вложений для нормального развития любой экономической системы в условиях рынка. Ограниченность ресурсов вызывает необходимость выбора наиболее эффективных направлений их использования. Оценка инвестиционной привлекательности является необходимой составляющей механизма этого отбора.

Особенности современной мировой экономической системы предопределяют комплексный подход к оценке инвестиционной привлекательности, прослеживающий формирование и динамику инвестиционной привлекательности на всех уровнях: макроэкономики, мезоэкономики, микроэкономики и даже мега- и наноэкономики.

В условиях инновационной экономики (экономики знаний) понятие инвестиционных ресурсов трактуется гораздо шире финансовой сферы. Порой более важным для развития экономики является привлечение не финансов, а опыта, знаний, технологий, идей и других информационно-технологических ресурсов.

В обобщенном виде понятие инвестиционной привлекательности можно сформулировать следующим образом: инвестиционная привлекательность – совокупность свойств объекта инвестирования, позволяющая инвестору в результате осуществления инвестиций в данный объект с наибольшей вероятностью и полнотой достичь своей цели. Во многих существующих методиках оценки инвестиционной привлекательности вероятность достижения инвестором цели определяется понятием «риск» а полнота – «потенциал» [1–3]. Из приведенного определения очевидно, что инвестиционная привлекательность зависит, в первую очередь, от цели инвестора. Для государства – это получение определенного социально-экономического эффекта; для частных инвесторов – получение дохода, развитие бизнеса, совершенствование технологии производства, расширение рынков сбыта и т. д. В настоящее время для России основной целью государства, закрепленной в многочисленных программных документах, является формирование инновационной, социально-ориентированной экономики. Механизм достижения этой цели – модернизация экономической системы страны. Для ее осуществления требуется масштабное привлечение как государственных, так и частных инвестиций (в том числе иностранных). В связи с этим, критически важным выступает формирование инвестиционной привлекательности экономики страны для частных инвесторов. Поэтому в дальнейшем под инвестиционной привлекательностью будет подразумеваться, в первую очередь, инвестиционная привлекательность с позиции привлечения средств частных инвесторов.

Пользователей методики оценки инвестиционной привлекательности можно разделить на 2 группы: субъекты, заинтересованные в выгодном и безопасном размещении финансовых и других ресурсов (инвесторы); субъекты, заинтересованные в привлечении инвестиционных ресурсов (предприниматели, федеральные и региональные власти, общество в целом).

Основными целями оценки инвестиционной привлекательности для 2-й группы пользователей являются прогнозирование инвестиционной активности в отношении анализируемого объекта инвестирования (страна, регион, отрасль, предприятие, проект); определение факторов, оказывающих наибольшее влияние на инвестиционную привлекательность, для воздействия на них с целью максимизации инвестиционной привлекательности анализируемого объекта.

В настоящее время существуют методики, использующие количественные методы оценки, методики, оперирующие экспертными оценками, а также методики, комбинирующие эти подходы [3; 4]. Преимуществом использования экспертных оценок является возможность учета неформализуемых факторов, которые невозможно оценить с помощью количественных методов. Основной недостаток экспертных методов – субъективность получаемых оценок, их зависимость от квалификации экспертов, необходимость соблюдения независимости экспертов и их незаинтересованности в результатах оценки.

При разработке методики оценки инвестиционной привлекательности ключевым моментом является выбор способа представления итогового результата и его смысловой нагрузки. Наиболее информативным является вывод в результате анализа интегрального показателя характеризующего инвестиционную привлекательность объекта инвестирования. Методика оценки инвестиционной привлекательности должна быть единообразной для всех аналогичных объектов капиталовложений и обеспечивать возможность посредством сопоставления интегральных показателей сравнивать различные объекты по уровню инвестиционной привлекательности.

В существующих методиках применяются как одномерные, так и многомерные показатели. Широкое распространение получили методики, основанные на двухмерном интегральном показателе, характеризующем потенциал и риск объекта инвестирования [1–3]. Область определения показателя может быть дискретным или не-

прерывным, открытым или закрытым множеством. Типичным примером интегрального показателя, определенного на закрытом дискретном множестве, является показатель, характеризующий отношение анализируемого объекта к определенной категории (типу, классу) по уровню инвестиционной привлекательности. Также распространены методики, интегральный показатель которых отражает ранг-место анализируемого объекта инвестирования в некотором множестве аналогичных объектов по уровню инвестиционной привлекательности; недостатком данного способа представления, так же как и распределения по категориям, является невозможность определить, на сколько (во сколько раз) тот или иной объект привлекательнее другого. Способы представления итогового результата в виде ранга и категории наиболее характерны для экспертных методик.

Оценка инвестиционной привлекательности может применяться для прогнозирования инвестиционной активности исходя из того, что инвестиционная привлекательность (ИП) – это обобщенный фактор признаков, а инвестиционная активность (ИА) – зависимый от него результат:

$$\text{ИА} = f(\text{ИП}). \quad (1)$$

Предположим, что существует некоторое множество инвесторов, каждый из которых обладает определенной суммой инвестиционных ресурсов (для упрощения в данном случае учитываются только финансовые ресурсы), которые он планирует инвестировать с максимальной выгодой и минимальным риском в анализируемом периоде. Исходя из сущности понятия инвестиционная привлекательность, при допущении, что большинство инвесторов объективно ее оценивают, максимальная инвестиционная активность будет наблюдаться в отношении наиболее привлекательных объектов капиталовложений. При этом инвестиционная активность будет ограничиваться не только инвестиционной привлекательностью анализируемого объекта, но и объемом инвестиционных ресурсов. Таким образом, инвестиционная привлекательность наиболее информативно характеризуется не абсолютными, а относительными показателями инвестиционной активности (объема привлеченных инвестиционных ресурсов).

Применительно к оценке инвестиционной привлекательности регионов это будет означать следующее. Суммарный объем инвестиционных ресурсов, привлеченных в экономику России, определяется обоснованной потребностью в инвестициях (ОПИ) (инвестиционной емкостью) и страновой инвестиционной привлекательностью. Распределение этих ресурсов по регионам будет определяться их потребностью в инвестициях и инвестиционной привлекательностью.

В данном случае под потребностью в инвестициях подразумевается суммарный платежеспособный спрос на инвестиции. Не следует путать данное понятие с понятием инвестиционный потенциал. В методиках оценки инвестиционной привлекательности по критериям «потенциал–риск» понятие «инвестиционный потенциал» означает «совокупность факторов, оказывающих положительное влияние на инвестиционную привлекательность» [2]. Понятие потребность в инвестициях не имеет прямой связи с инвестиционной привлекательностью. Здесь связь скорее аналогична связи между понятиями «спрос» и «предложение». То есть потребность в инвестициях характеризует «предложение» возможностей размещения инвестиций для потенциальных инвесторов, а «спрос» на данные «предложения» будет определятся инвестиционной привлекательностью объектов инвестирования; в случае высокой инвестиционной привлекательности объекта инвестирования инвестиционные потребности объекта могут быть покрыты полностью; объект же с относительно низкой инвестиционной привлекательностью не сможет привлечь необходимый объем инвестиционных ресурсов (соответствующий его инвестиционному потенциалу), либо сможет привлечь необходимые средства лишь по более высокой стоимости.

На основании вышесказанного можно уточнить понятие инвестиционной привлекательности следующим образом: инвестиционная привлекательность – совокупность свойств объекта инвестирования, позволяющих ему привлекать необходимые инвестиционные ресурсы в объемах, соответствующих его инвестиционной потребности на относительно более выгодных условиях, нежели для других аналогичных объектов инвестирования, обладающих меньшей инвестиционной привлекательностью.

На основании этого зависимость между инвестиционной активностью и инвестиционной привлекательностью будет иметь следующий вид:

$$\text{ИА} = f(\text{ИП}, \text{ОПИ}). \quad (2)$$

Исходя из того, что инвестиционная привлекательность предприятия (проекта) определяется совокупным влиянием собственных характеристик, инвестиционной привлекательностью отрасли, региона, страны; региональную составляющую можно определить следующим образом:

$$\frac{\text{ИА}_\text{р}}{\text{ИА}_\text{с}} = \frac{\text{ОПИ}_\text{р}}{\text{ОПИ}_\text{с}} \text{ИП}_\text{р} \Leftrightarrow \text{ИП}_\text{р} = \frac{\text{ИА}_\text{р}/\text{ИА}_\text{с}}{\text{ОПИ}_\text{р}/\text{ОПИ}_\text{с}}, \quad (3)$$

где $\text{ИА}_\text{р}$ – инвестиционная активность в регионе; $\text{ИА}_\text{с}$ – инвестиционная активность в стране в целом; $\text{ОПИ}_\text{р}$ – обоснованная потребность региона в инвестициях; $\text{ОПИ}_\text{с}$ – обоснованная потребность в инвестициях страны в целом; $\text{ИП}_\text{р}$ – инвестиционная привлекательность региона относительно среднероссийского уровня; $\text{ИА}_\text{р}$ / $\text{ИА}_\text{с}$ – доля инвестиционной активности в регионе в инвестиционной активности по стране в целом; $\text{ОПИ}_\text{р}$ / $\text{ОПИ}_\text{с}$ – доля потребности региона в инвестициях в потребности инвестициях страны в целом (характеризует перспективную долю экономики региона в экономике страны).

Важным моментом в данном случае является то, что величина показателя инвестиционной привлекательности является относительным значением. Формула (3) основана на следующем предположении: доля региона в инвестиционной активности страны будет выше его доли в обоснованной инвестиционной потребности ровно во столько раз, во сколько раз инвестиционная привлекательность региона выше среднероссийского уровня. Область определения данного показателя $[0; \infty)$. Интегральный показатель характеризует отношение уровня инвестиционной привлекательности региона к среднероссийскому. Таким образом, если $\text{ИП}_\text{р} > 1$ – инвестиционная привлекательность региона выше среднероссийского уровня,

если $ИП_р < 1$ – инвестиционная привлекательность региона ниже среднероссийского уровня.

Потребность в инвестициях для предприятий и инвестиционных проектов рассчитывается на основании показателей бизнес-плана. Теоретически для регионов и отраслей экономики потребность в инвестициях должна определятся как сумма инвестиционных потребностей составляющих их предприятий. Однако на практике произвести подобные расчеты довольно сложно. При этом необходимо учитывать, что многие потенциально перспективные и необходимые региональной экономике инвестиционные проекты могут не существовать даже в виде бизнес-плана.

Поскольку при определении инвестиционной привлекательности важно не абсолютное, а относительное значение обоснованной потребности в инвестициях ($ОПИ_р$ / $ОПИ_с$), относительная потребность региона в инвестициях может определяться масштабами бизнеса в регионе в сопоставлении с масштабами бизнеса страны.

С учетом того, что для нашей задачи необходимо вычисление не абсолютной, а относительной потребности в инвестициях, представляется целесообразным использовать для оценки сравнительных масштабов экономики региона частное деление численности экономически активного населения региона на аналогичный показатель по стране.

Для определения уровня инвестиционной активности наиболее информативным является использование величины инвестиций в основной капитал.

Показатель инвестиционной привлекательности региона, определяемый на основе анализа инвестиционной активности, характеризует среднюю оценку инвестиционной привлекательности инвесторами, осуществляющими капиталовложения на территории исследуемого региона, уровень реализации инвестиционной привлекательности региона или фактический уровень инвестиционной привлекательности.

Уровень инвестиционной привлекательности, рассчитанный на основе анализа факторов инвестиционной привлекательности, можно назвать теоретическим, или потенциальным уровнем инвестиционной привлекательности. Общая формула для расчета итогового показателя инвестиционной привлекательности в методиках, основанных на анализе факторов инвестиционной привлекательности, может выглядеть следующим образом:

$$ИП_Т = \sum_{i=1}^{n} F_i \cdot a_i, \qquad (4)$$

где $ИП_Т$ – теоретическая инвестиционная привлекательность j-го объекта; F_{ij} – оценка i-го показателя для j-го объекта; F_i – оценка i-го показателя; a_i – вес i-го показателя, определяемый степенью его влияния на инвестиционную привлекательность; n – количество показателей, учитываемых при оценке инвестиционной привлекательности.

Для представления интегрального показателя потенциальной инвестиционной привлекательности и оценки факторов его составляющих более целесообразно использовать иную шкалу, нежели в случае фактической инвестиционной привлекательности. Впрочем, эти формы представления тесно взаимосвязаны между собой и легко преобразуются друг в друга. В данном случае областью определения является закрытое непрерывное множество [–1; +1]. Значение 0 соответствует среднему значению показателя, –1 – наихудшему значению показателя; +1 – оптимальному значению показателя. Соответственно, значения на отрезке [–1; 0) характеризуют показатели «хуже среднего»; на отрезке (0; +1] «лучше среднего». Величина по модулю характеризует отношение к оптимальному или наихудшему значению.

Показатели приводятся к данной оценочной шкале по следующему алгоритму (если исходные значения показателя определены на промежутке [0; +∞)):

1. Определяется, позитивно либо негативно данный показатель влияет на инвестиционную привлекательность. В дальнейшем показатели, позитивно влияющие на инвестиционную привлекательность, будем называть «позитивными показателями»; негативно влияющие на инвестиционную привлекательность – «негативными показателями».

2. Рассчитываются значения показателя для всех анализируемых объектов (f_{ij}, где i – порядковый номер показателя; j – порядковый номер анализируемого объекта).

3. Вычисляется среднее значение показателя ($f_{i\text{ср}}$) (например, при оценке инвестиционной привлекательности региона – это значение показателя в среднем по стране).

4. Устанавливается отношение величины показателя анализируемого объекта к среднему значению показателя ($f_{ij}/f_{i\text{ср}}$) (по области определения и смысловой нагрузке получаемый на данном этапе показатель аналогичен показателю фактической инвестиционной привлекательности, о котором речь шла выше).

5. Обосновывается минимальное значение для показателей, рассчитанных в п. 4 ($f_{i\min}/f_{i\text{ср}}$). Для позитивных показателей это может быть 0, минимальное значение по совокупности анализируемых объектов, минимально допустимое значение; для негативных показателей минимальное значение является оптимальным, оно может быть равным нулю, минимальному значению по совокупности анализируемых объектов либо оптимальному значению показателя.

6. Рассматривается максимальное значение для показателей, рассчитанных в п. 4 ($f_{i\max}/f_{i\text{ср}}$). Для позитивных показателей оно является оптимальным значением, если оптимальное значение показателя неизвестно, в его качестве принимается максимальное значение по совокупности анализируемых объектов, для негативных показателей в качестве максимального значения принимается либо максимально допустимый уровень показателя, либо максимальное значение показателя по совокупности анализируемых объектов.

7. Находится F_{ij}. Если в качестве максимального и минимального значений взяты максимальное и минимальное значения по совокупности исследуемых объектов или 0, расчет производится согласно п. 8. Если минимально допустимое значение меньше среднего, а максимально допустимое значение больше среднего, расчет производится согласно п. 8. Если принятое максимальное значение меньше минимального значения по совокупности исследуемых объектов, для позитивных показателей $F_{ij} = 1$, для негативных $F_{ij} = -1$. Если принятое минимальное значение больше максимального значения по совокупности исследуемых объектов, для позитивных показателей $F_{ij} = -1$, для негативных $F_{ij} = 1$. Если принятое макси-

мальное значение больше минимального значения по совокупности исследуемых объектов, но меньше либо равно среднему значению, то, если $f_{ij} \le f_{imax}$, для позитивных показателей $F_{ij} = -(f_{imax}/f_{icp} - f_{ij}/f_{icp}) / (f_{imax}/f_{icp} - f_{imin}/f_{icp})$, для негативных $F_{ij} = (f_{imax}/f_{icp} - f_{ij}/f_{icp}) / (f_{imax}/f_{icp} - f_{imin}/f_{icp})$, если $f_{ij} > f_{imax}$, для позитивных показателей $F_{ij} = 1$, для негативных $F_{ij} = -1$. Если принятое минимальное значение меньше максимального значения по совокупности исследуемых объектов, но больше либо равно среднему значению, то, если $f_{ij} \ge f_{imin}$, для позитивных показателей $F_{ij} = (f_{ij}/f_{icp} - f_{imin}/f_{icp})/ (f_{imax}/f_{icp} - f_{imin}/f_{icp})$, для негативных $F_{ij} = -(f_{ij}/f_{icp} - f_{imin}/f_{icp}) / (f_{imax}/f_{icp} - f_{imin}/f_{icp})$, если $f_{ij} < f_{imin}$, для позитивных показателей $F_{ij} = -1$, для негативных $F_{ij} = 1$.

Если $f_{ij}/f_{icp} = 1$, $F_{ij} = 0$. Если $(f_{imin}/f_{icp}) < f_{ij}/f_{icp} < 1$, для позитивных показателей $F_{ij} = -(1 - f_{ij}/f_{icp})/(1 - f_{imin}/f_{icp})$, для негативных $F_{ij} = (1 - f_{ij}/f_{icp})/(1 - f_{imin}/f_{icp})$. Если $f_{ij}/f_{icp} < f_{imin}/f_{icp}$, для позитивных показателей $F_{ij} = -1$, для негативных $F_{ij} = 1$. Если $1 < f_{ij}/f_{icp} < f_{imax}/f_{icp}$, для позитивных показателей $F_{ij} = (f_{ij}/f_{icp} - 1)/(f_{imax}/f_{icp} - 1)$, для негативных $F_{ij} = -(f_{ij}/f_{icp} - 1)/(f_{imax}/f_{icp} - 1)$.

При отборе факторов инвестиционной привлекательности региона следует учитывать высокую взаимосвязь всех сторон общественного развития (экономики, политики, науки, культуры, образования, здравоохранения, социальной сферы и т. д.). Поскольку, как было отмечено выше, пользователями методики являются не только инвесторы но и региональные и федеральные власти и другие субъекты, заинтересованные в управлении инвестиционной привлекательностью региона, методика должна дать не только интегральный показатель инвестиционной привлекательности региона, но и позволить проследить, за счет каких факторов сформировался данный уровень инвестиционной привлекательности, выявить степень воздействия конкретных факторов на инвестиционную привлекательность и взаимосвязь их между собой, и на основании этого сформулировать наиболее эффективные меры по повышению инвестиционной привлекательности.

Определение состава показателей и их относительных весов при оценке факторов инвестиционной привлекательности основывается на анализе статистических взаимосвязей между показателями, характеризующими факторы инвестиционной привлекательности, и показателем фактического уровня инвестиционной привлекательности [5–8]. При этом необходимо учитывать сложный характер взаимосвязей между важнейшими характеристиками социально-экономической системы региона, такими как инвестиционная привлекательность, уровень социально-экономического развития [9], производственный потенциал, уровень жизни населения, социальная стабильность и т. д. Например, развитие строительной инфраструктуры является фактором инвестиционной привлекательности, в то же время, инвестиционная активность, а следовательно и инвестиционная привлекательность, являются ключевыми факторами развития строительства, определяя спрос на продукцию строительной индустрии. Производственный потенциал, являясь фактором инвестиционной привлекательности, зависит в своем развитии от инвестиционной активности и определяет такие факторы инвестиционной привлекательности, как уровень жизни населения и зачастую негативно влияет на уровень экологических рисков. Уровень жизни населения является основой развития внутреннего рынка (формируя платежеспособный спрос на товары и услуги). А емкий внутренний рынок является необходимым условием для развития производства.

Каждый фактор инвестиционной привлекательности может определяться несколькими показателями. В этом случае для определения веса каждого показателя в формуле (4) вес показателя в группе умножается на вес фактора.

В результате проведенного исследования на основе анализа сущности инвестиционного процесса в современной экономике и его зависимости от базовых характеристик социально-экономической системы региона, а также анализа статистической взаимосвязи отобранных показателей с показателем фактической инвестиционной привлекательности, были выбраны следующие факторы инвестиционной привлекательности, определяющие их показатели и присвоены им весовые коэффициенты, характеризующие их относительную значимость:

1. Производственный потенциал (вес 0,176): валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения (вес 0,4), основные фонды (ОПФ) на душу населения (вес 0,5), эффективность использования основных фондов (ВРП/ОПФ) (вес 0,1).

2. Внутренний рынок (вес 0,08): оборот розничной торговли на душу населения (вес 0,4), объем платных услуг на душу населения (вес 0,6).

3. Человеческий капитал (вес 0,09): доля экономически активного населения в численности населения (вес 0,3), удельный вес пенсионеров в численности населения (вес 0,05), уровень безработицы (вес 0,05), удельный вес студентов высших и средних учебных заведений в численности населения (вес 0,07), среднедушевые доходы (вес 0,4), доля населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума (вес 0,05), общая площадь жилых помещений на одного жителя (вес 0,05), число собственных легковых автомобилей на душу населения (вес 0,03).

4. Криминальные риски (вес 0,039): число преступлений, сопряженных с насильственными действиями в отношении потерпевших на тысячу человек населения.

5. Транспортная инфраструктура (вес 0,059): общая протяженность автодорог на единицу площади региона и на душу населения региона (определяемая с применением показателя Э. Энгеля).

6. Энергетическая инфраструктура (вес 0,039): производство электроэнергии на душу населения.

7. Научный потенциал (вес 0,059): число организаций, выполнявших исследования и разработки на тысячу человек населения (вес 0,3), доля персонала, занятого исследованиями и разработками в численности населения (вес 0,7).

8. Информационные технологии (вес 0,078): удельный вес организаций, имеющих веб-сайт (вес 0,2), удельный вес организаций, использовавших локальные вычислительные сети (вес 0,5), удельный вес организаций, использовавших сеть Интернет (вес 0,3).

9. Внешнеэкономическая деятельность (вес 0,12): экспорт на душу населения (вес 0,5), импорт на душу населения (вес 0,1), экспорт/импорт (вес 0,4).

10. Финансовая инфраструктура (вес 0,04): объем банковских вкладов (депозитов) юридических и физических

лиц в рублях и иностранной валюте, привлеченных кредитными организациями на душу населения (вес 0,6), страховые премии (взносы) на душу населения (вес 0,3), удельный вес убыточных организаций (вес 0,1).

11. Развитие малого бизнеса (вес 0,04): число малых предприятий на тысячу человек населения (вес 0,4); доля работников малых предприятий (без внешних совместителей) в численности населения (вес 0,55), численность работников малых предприятий на одно предприятие (вес 0,05).

12. Строительная инфраструктура (вес 0,18): объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство» на душу населения (вес 0,9), число строительных организаций на тысячу человек населения (вес 0,1).

Например, для Красноярского края влияние приведенных факторов на интегральный теоретический показатель инвестиционной привлекательности, с учетом весовых коэффициентов в 2007 г. составило следующие значения: производственный потенциал +0,038 2; внутренний рынок –0,006 9; человеческий капитал +0,000 9; криминальные риски +0,004 1; транспортная инфраструктура –0,049 9; энергетическая инфраструктура +0,014 6; научный потенциал –0,029 3; информационные технологии –0,012 4; внешнеэкономическая деятельность +0,014 1; финансовая инфраструктура –0,018 0; развитие малого бизнеса –0,014 1; строительная инфраструктура –0,057 7. Интегральный показатель теоретической инвестиционной привлекательности составил –0,116 4; значение фактической инвестиционной привлекательности по Красноярскому краю за 2007 г. –0,122 7. Красноярский край занимает 23-е место по показателю фактической инвестиционной привлекательности и 19-е место по показателю теоретической инвестиционной привлекательности из 80-ти исследованных регионов. Наибольшее положительное значение на инвестиционную привлекательность Красноярского края оказывает высокий производственный потенциал. Базовой отраслью промышленного комплекса края является цветная металлургия [10], развитию этой отрасли способствует развитая энергетическая инфраструктура. Наибольшее негативное влияние оказывает недостаточное развитие транспортной инфраструктуры.

Все показатели, используемые в приведенной методике, рассчитываются на основе официальных общедоступных данных государственной статистики публикуемых в статистических сборниках и сети Интернет. В методике не используются экспертные оценки, что обеспечивает максимальную открытость производимых расчетов, повышает объективность и достоверность. Используемые весовые коэффициенты могут изменяться в зависимости от эволюции экономической системы и предпочтений конкретных инвесторов либо других пользователей методики. В частности при повышении инновационной составляющей экономики можно предположить повышение значимости таких факторов инвестиционной привлекательности, как научный потенциал, человеческий капитал, развитие малого бизнеса.

Библиографические ссылки

1. Частно-общественное партнерство в разработке и реализации территориальной инвестиционной стратегии. Основные результаты проекта [Электронный ресурс] // МЦСЭИ Леонтьевский центр : авт. некоммерч. орг. : сайт. URL: http://www.ano.leontief.ru.

2. Рейтинг инвестиционной привлекательности российских регионов: 2006–2007 [Электронный ресурс] // Эксперт-РА : рейтинг. агентство : сайт. URL: http://www.raexpert.ru/ratings/regions / 2007.

3. Рахимов Т. Р. Классификация методик оценки инвестиционного климата и ее применение для целей регионального развития [Электронный ресурс] // Региональная экономика и управление : электрон. науч. журн. 2008. № 2 (14). URL: http://region.mcnip.ru.

4. Дерябина Я. Сравнительный анализ подходов к оценке инвестиционной привлекательности и инвестиционной активности российских регионов // Инвестиции в России. 2003. № 8. С. 17–19.

5. Радченко С. Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей : моногр. Красноярск : ПП «Санспарель», 2005.

6. Шаланов, Н. В. Математическая экономика. Новосибирск : НГИ, 2005.

7. Эконометрика : учебник / под ред. И. И. Елисеевой. М. : Финансы и статистика, 2005.

8. Ефимова М. Р., Петрова Е. В., Румянцев В. Н. Общая теория статистики : учебник. М. : Инфра-М, 1996.

8. Федченко А. А. Роль экономического анализа при оценке уровня развития региона // Экономический анализ теория и практика. 2009. № 21. С. 16–21.

9. Экономика и промышленность Красноярского края [Электронный ресурс] // Красноярский край : офиц. интернет-портал. URL: http://www.krskstate.ru/econom/.

E. V. Smirnova, M. Yu. Zhukov

TECHNIQUE OF ESTIMATION OF INVESTMENT APPEAL OF A REGION

Problems of estimation of investment appeal of a region are considered. Value of investment appeal from the point of view of attraction of investments into region. Interrelation of investment appeal and various characteristics of development of regional social and economic system.

Keywords: investment appeal, investments, region.

© Смирнова Е. В., Жуков М. Ю., 2010

УДК 911.3(470)

А. А. Кисуркин, Т. Н. Плотникова, Т. Г. Краснова

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КАК ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНА*

Рассматриваются экономические ресурсы региона в качестве факторов развития. Приводится авторская классификация факторов, выполненная с позиций системного подхода с учетом целей социально-экономического развития региона.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие региона, региональные экономические ресурсы, классификация региональных экономических ресурсов.

Развитие национальной экономики в значительной мере определяется ресурсными и институциональными условиями хозяйствования, входящих в ее состав региональных социально-экономических систем.

С началом экономических преобразований в РФ произошли коренные изменения в условиях развития российских регионов. Дифференциация социально-экономического развития регионов, прежде всего, связана с неоднородностью и различием экономических ресурсов регионов, что создает в условиях усиления глобальной конкуренции опасность снижения уровня социально-экономического развития не только отдельных регионов, но и страны в целом. Эта проблема может быть решена только при эффективном использовании ресурсов регионов.

Эффективное использование региональных ресурсов заложено в национальных и региональных программах развития. В общем случае под «развитием» обычно подразумевают любое прогрессивное изменение. Такой подход обеспечивает нацеливание всех поступательных действий социально-экономической политики государства на достижение регионами определенного уровня. Из года в год возникает не только межрегиональная, но и пространственная дифференциация муниципалитетов внутри региона, возникает проблема в виде социально-экономического расслоения. Даже в структуре округа наблюдается значительное различие социально-экономического развития регионов (таблица).

Лидирующее положение в рейтинге занимает Красноярский край: по двум основным критериям – ВРП на душу населения и уровню безработицы (6,5 %). Выделились и аутсайдеры почти по всем критериям развития – это Республика Тыва (занимает последнее место почти по всем рейтингам), Республика Бурятия (по уровню инвестиций), Республика Алтай (по ВРП на душу населения и по уровню безработицы). Возникает вопрос, какие факторы оказывают влияние на процесс дифференциации социально-экономического развития. Все процессы, происходящие на уровне регионов, трактуются как многоэлементные со сложными взаимосвязями, что приводит к разнообразию территориальных сценариев развития.

Принципиально новым аспектом последних лет стало то, что федеральный центр потерял приоритетное право на программирование развития: появились программы регионального развития, программы развития ряда муниципальных образований. Инициатива развития уходит от органов государственной власти к крупнейшим городам и финансово-промышленным группам. Теперь, оказавшись перед лицом необходимости конкурировать за привлечение на находящуюся в их юрисдикции территорию потоков капитала, акций и технологий, все уровни власти и местного самоуправления признают, что обязаны заниматься «комплексным социально-экономическим развитием» [1].

Данная функция не является новацией последних лет, она унаследована от Советского государства. Однако в Советском государстве развитие строилось на социально-технических нормативах, спускаемых сверху вниз всем органам власти и предприятиям. Теперь же на повестку дня вышел вопрос о разработке региональных и муниципальных программ развития – не спускаемых сверху, а выражающих собственную стратегию регионов и крупнейших городов в условиях «новой регионализации» [2].

Развитие необходимо рассматривать с позиции влияния факторов, так как все региональные социально-экономические процессы протекают под воздействием разнообразных факторов, как внешних, так и внутренних.

Знание этих факторов и умение управлять ими позволяет регулировать изменение показателей эффективности функционирования региональной системы в целом. В экономических региональных исследованиях под факторами понимают условия, необходимые для проведения данного процесса, а также причину этого процесса, определяющего его характер или одну из основных черт.

С другой стороны, результат воздействия одной или нескольких причин, выступающих в качестве объекта исследования, является результативным показателем. В зависимости от того, что является объектом исследования, один и тот же показатель может быть как результативным, так и факторным. Отбор факторов осуществляется на основе теоретических и практических знаний по исследуемой проблеме. С этой целью в работе выполнен анализ всех социально-экономических факторов функционирования региональной экономики. В результате хозяйственной деятельности на территории формируется экономическая среда, включающая участников создания совокупного регионального продукта, исходя из имеющегося социально-экономического потенциала, природных условий, потребностей общества.

* Печатается при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009–2013 гг. (Госконтракт № 02.740.11.05.85).

В соответствии с предложенным подходом произведена классификация факторов развития региональной экономики как социально-экономического комплекса территории. В качестве факторов выступают экономические ресурсы. Под экономическими ресурсами понимаются все виды региональных ресурсов, используемые в процессе производства. Это те блага, которые используются для производства других благ, поэтому их также называют факторами экономического роста.

К экономическим ресурсам относятся следующие:

– природные (земля, недра, лесные, биологические, климатические и рекреационные ресурсы);

– трудовые (люди, с их способностью производить товары и услуги);

– капитал (в форме денег, т. е. денежный капитал);

– предпринимательские способности (способности людей к организации производства товаров и услуг);

– знания, необходимые для хозяйственной жизни.

Каждый экономический ресурс формирует свой ресурсный рынок: рынок труда, рынок капитала и т. д., в свою очередь состоящего из множества рынков конкретного ресурса.

Учитывая, что экономические ресурсы – это совокупность материальных и нематериальных факторов и средств, обеспечивающих функционирование общественного производства, бесперебойный процесс общественного производства и воспроизводства, следует особенно тщательно подходить к их классификации. Функционирование региональной экономики предполагает использование экономических ресурсов. Ресурсы, вовлеченные в процесс воспроизводства, выполняют роль факторов производства и воспроизводства. В этом случае следует различать экономические ресурсы как функционирующие и потенциальные.

За основу классификации можно принять классификацию экономических благ [3]:

1. Долговременные – обладающие способностью возобновляться.

2. Недолговременные – полностью потребляемые.

3. Взаимозаменяемые (альтернативные).

4. Взаимодополняющие (комплиментарные).

5. Настоящие – находящиеся в непосредственном распоряжении экономического субъекта.

6. Будущие (потенциальные).

7. Прямые – непосредственно удовлетворяющие некоторую потребность.

8. Косвенные или производительные – удовлетворяющие какую-либо потребность как средство.

Все экономические ресурсы обладают полезностью, ограниченностью (редкостью), ресурсоемкостью.

Полезность ресурсов состоит в том, что с их помощью удовлетворяют потребность экономики. Редкость ресурсов обозначает, что они существуют в ограниченном количестве. Ограниченность ресурсов может происходить в силу естественных причин (редкости), общественных условий и по сравнению с безграничными потребностями функционирования экономики.

Ресурсоемкость указывает на факт использования факторов производства и процесс их создания. В зависимости от удельного веса затрат экономические ресурсы можно разделить на трудоемкие, капиталоемкие и материалоемкие.

Экономические ресурсы, созданные природой, называют свободными, так как они не требуют человеческого труда и средств, которые используются в процессе производства.

С точки зрения вещественного содержания экономические ресурсы делят на материальные и нематериальные. Нематериальные ресурсы представлены такими категориями, которые характеризуют качество и степень овладения каким-либо качеством.

С позиции социально-экономического развития общества экономические ресурсы можно классифицировать:

– на производственные;

– коммуникационные;

– информационно-распределительные;

– деловые;

– общественные;

– социальные (образование, здравоохранение и т. д.).

В зависимости от назначения экономические ресурсы делятся на потребительские (конечного потребления)

Рейтинги регионов в составе Сибирского федерального округа (2009 г.)

Регион	Валовой региональный продукт на душу населения, руб.	Рейтинг	Индекс промышленного производства, %	Рейтинг	Инвестиции в основной капитал на душу населения, руб.	Рейтинг
Сибирский федеральный округ	154 687		104,0		45 794	
Республика Алтай	74 266	11	101,8	9	34 963	8
Республика Хакасия	114 126	8	107,6	2	24 773	9
Республика Тыва	63 686	12	91,8	12	10 426	12
Республика Хакасия	119 253	7	104,8	5	19 150	11
Алтайский край	88 935	10	103,7	6	22 237	10
Забайкальский край	101 052	9	102,2	8	42 099	7
Красноярский край	253 942	1	105,3	4	63 880	2
Иркутская область	160 523	3	106,0	3	51 007	4
Кемеровская область	157 298	4	97,5	11	52 891	3
Новосибирская область	144 869	6	108,6	1	46 439	5
Омская область	149 273	5	103,4	7	42 197	6
Томская область	208 946	2	100,0	10	75 789	1

и производственные (воспроизводимые и многократного потребления).

Ученые-экономисты не выделяют четкой классификации экономических ресурсов, кроме общих блоков: природные, трудовые, производственные, предпринимательские способности, капитал. Это обстоятельство затрудняет исследования, касающиеся закономерностей и реакций социально-экономических систем на воздействие экономических ресурсов.

Поэтому чтобы выполнить научную классификацию экономических ресурсов, можно использовать системный подход и с его помощью выделить элементы экономических ресурсов региона в общей региональной социально-экономической системе [4]. Исследование сущности региональной социально-экономической системы приводит к необходимости уточнения фундаментального понятия «система» с позиции региональных экономических ресурсов. Так, Н. Н. Моисеев называет «системой» любую совокупность взаимодействующих элементов. Очевидно, что данная трактовка формально позволяет конкретизировать понятие через перечисление его свойств [5]:

– в основе системы лежит материальный продукт (экономический ресурс);

– все системы ориентированы на человека, а поэтому они оказываются взаимосвязанными;

– каждая система состоит из ряда специфических элементов, но работа их подчинена единым, глобальным целям;

– системе присуще свойство развиваться, адаптироваться путем создания новых связей.

В процессе хозяйственной деятельности региона функционируют все элементы социально-экономической системы. Экономическая система есть совокупность взаимосвязанных и определенным образом упорядоченных элементов экономики. Учитывая тождественность определения системы и элементов, ее составляющих, можно дать следующее определение. Региональная социально-экономическая система есть совокупность взаимосвязанных и определенным образом упорядоченных экономических ресурсов как факторов развития самой системы. В данном определении подчеркивается обязательное наличие нескольких структурных элементов в системе, возникающие связи и отношения между элементами, которые при любых комбинациях факторов предполагают способность системы сохранять тождество самой себе при различных изменениях. Классификация экономических ресурсов определяется многообразием их свойств. Целесообразно сосредоточить внимание на экономические ресурсы с точки зрения их структуры и функциональных особенностей, при этом следует учитывать возможность кумулятивного взаимодействия элементов на региональную систему и, наоборот, с точки зрения процесса детерминации социально-экономических потребностей.

Детерминация общественных потребностей находит конкретное выражение в следующем:

1) форме и мере общественного богатства;

2) производстве; происходит структурный сдвиг в сторону социокультурной среды;

3) производительных силах общества;

4) инновационных видах продукции;

5) труде как творческой деятельности.

Все это говорит о том, что характеристики современной региональной экономической системы во многом выходят за пределы узкоэкономического измерения. С точки зрения возрастания сложности экономической системы целесообразно предложить следующую классификацию экономических ресурсов системы:

– изменяющиеся, ресурсы, находящиеся в постоянном движении;

– развивающиеся, процессы взаимосвязей ресурсов способствуют переходу количественных изменений (роста) в качественные преобразования (непосредственное развитие);

– адаптивные, сохраняющие свои свойства при условии оптимального состояния с возможным изменением среды в соответствии с внешними и внутренними условиями функционирования региональных систем;

– самоорганизующиеся, сохраняющие свою устойчивость (равновесие) в социально-экономических процессах.

Суммарные экономические ресурсы характеризуются наличием причинно-следственных связей между собой (рис. 1).

Только комплексный учет факторов влияния и особенностей их воздействия будут способствовать решению основной стратегической задачи региона – всестороннему развитию региональной социально-экономической системы.

Как и всякая социально-экономическая система, региональное образование имеет внутреннюю и внешнюю среду, которые взаимодействуют. Эти связи могут быть как прямого, так и косвенного воздействия. Для качественной характеристики и оценки динамики изменения внутренней среды достаточно проанализировать группы факторов, характеризующих производственно-ресурсный, кадровый, инновационный потенциал территории; муниципальный бюджет и пр.

В зарубежной теории и практике в настоящее время принят несколько иной стандартный набор факторов. В первую очередь различают две большие группы факторов: так называемые жесткие и мягкие [6].

Под жесткими понимаются количественно измеряемые факторы:

– ориентированные на ресурсы (земля, рабочая сила, капитал);

– ориентированные на производство и сбыт продукции (близость партнеров по кооперации, инфраструктура, структура населения и потребления);

– установленные государством (налоги, субсидии и программы поддержки).

Если между отечественными и жесткими факторами еще можно провести параллели, то мягкие факторы пока не учитываются. Они касаются количественно трудноизмеряемых категорий: уровня развития социальной среды населенного пункта, «дружественности» его экономики, стабильности политической ситуации и так называемого общественного климата, качества системы образования и уровня подготовки кадров и пр. Эти факторы являются достаточно значимыми в современных условиях, и необходимо учитывать их влияние на социаль-

но-экономическое развитие муниципальных образований.

Все влияющие факторы предлагается разделить на управляемые, неуправляемые и зависимые. Управляемыми можно считать те факторы, на которые региональные власти могут прямо воздействовать. Неуправляемые факторы, напротив, не зависят от деятельности местных властей, или воздействие на них со стороны органов власти крайне незначительно.

Большинство факторов, однако, сочетают в себе характеристики и управляемых, и неуправляемых факторов, и могут быть отнесены к промежуточной группе зависимых факторов. Классификация факторов по уровню управляемости представлена на рис. 2.

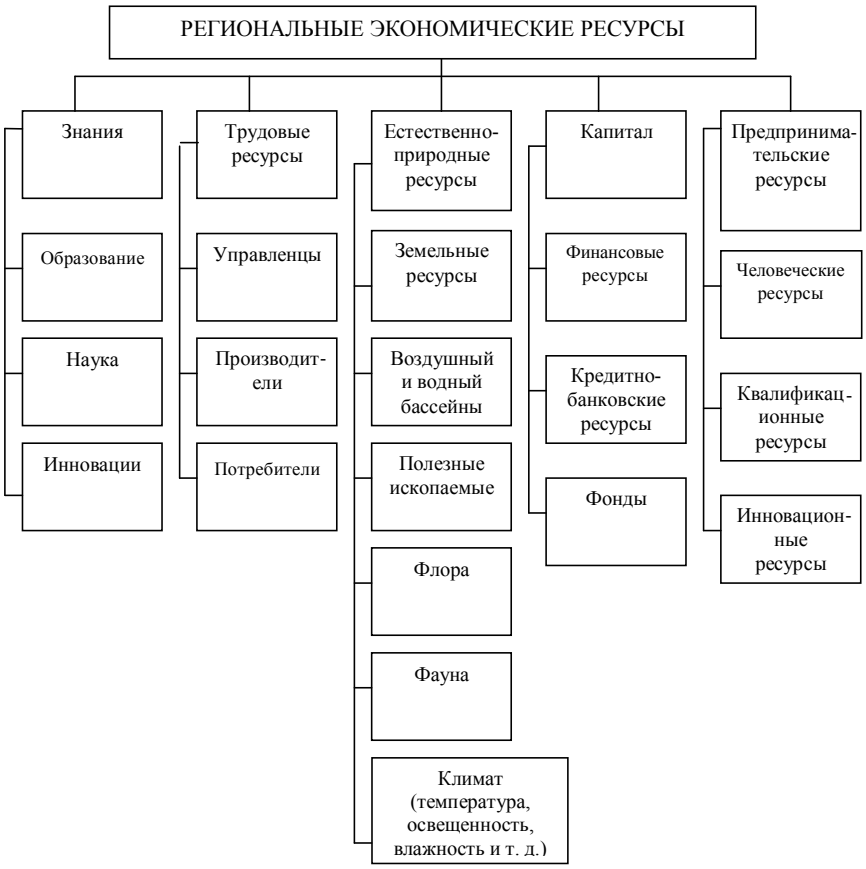


Рис. 1. Структура экономических ресурсов

Рис. 2. Классификация факторов, влияющих на ситуацию в региональном образовании (в зависимости от возможности воздействия на них региональных и муниципальных образований)

Предложенная классификация содержит новый подход к группировке факторных признаков, в качестве которых выступают региональные экономические ресурсы. Это дает обоснованную систему показателей (факторов), позволяющую оценить реакцию региональных социально-экономических систем на изменение условий хозяйствования, что является весьма актуальным для стратегического планирования и прогнозирования.

Факторы, согласно разработанной классификации выстроены таким образом, что их группировка является целевой. Поэтому при разработке стратегических планов можно будет выбирать факторы влияния по степени их важности и целеполагания. Такой метод позволит избежать лишних операций при планировании и повысить качество стратегического прогнозирования.

Библиографические ссылки

1. Богуславский А. П. Проблемы стратегического планирования социально-экономического развития городов // Рынок ценных бумаг. 2003. № 15 (246). С. 68–69.

2. Гранберг А. Г. Основы региональной экономики : учебник для вузов. М. : ВУ ВШЭ, 2000.

3. Симагин Ю. А. Территориальная организация населения и хозяйства. М. : Кнорус, 2007.

4. Новоселов А. С. Региональные рынки : учебник. М. : Инфра-М, 1999.

5. Теоретико-методологические аспекты разработки программ социально-экономического развития муниципальных образований / Е. А. Федорова [и др.] ; под общ. ред. Е. А. Федоровой. Тула : Изд-во ТулГУ, 2008.

6. Лебедева Г. В., Пригула О. Д., Фетисова Г. В. Статистический факторный анализ в экономике : учеб. пособие / НовГУ им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород, 2002.

A. A. Kisurkin, T. N. Plotnikova, T. G. Krasnova

ECONOMIC RESOURCES AS FACTORS INFLUENCING SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF A REGION

We consider the economic resources of the region to be factors of development. The author's classification of factors, carried out from a perspective of system approach with the account of socio-economic development of the region.

Keywords: socio-economic development of region, regional economic resources, classification of regional economic resources.

© Кисуркин А. А., Плотникова Т. Н., Краснова Т. Г., 2010

УДК 339.137.22

Е. А. Калашникова

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ НА РЫНКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА И КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Рассмотрена конкурентоспособность высших учебных заведений на рынке образовательных услуг Красноярского края, дается понятие «высшее профессиональное образование». Обоснована актуальность проблемы, показаны общие подходы и условия исследования конкурентоспособности высших учебных заведений, выделены основные факторы для оценки конкурентоспособности.

Ключевые слова: конкурентоспособность, высшее учебное заведение, образование, услуги, факторы конкурентоспособности.

В условиях современных тенденций развития российского высшего образования, а также мировой тенденции глобализации особую важность и актуальность приобретают вопросы конкурентоспособности высшего образования и конкурентоспособности высших учебных заведений, имеющие определяющее значение для успешного развития России. Маркетинг в сфере высшего образования постепенно приобретает самостоятельное значение, нуждается в дальнейшей проработке научно-категориального аппарата, выявления специфических черт и тенденций маркетинговой деятельности, присущих высшему учебному заведению как субъекту рынка образовательных услуг и рынка труда. Все большую значимость приобретают вопросы адаптации вуза к рыночным условиям хозяйствования, повышения его конкурентоспособности и формирования эффективного маркетинга образовательных услуг. Способы повышения конкурентоспособности высших учебных заведений и методология оценки их конкурентоспособности разработаны недостаточно, так как в различных научных трудах, посвя-

щенных оценке конкурентоспособности организаций освещаются, в основном, общие аспекты, без учета специфических особенностей, присущих высшей школе.

Объектом исследования являются государственные высшие учебные заведения и конкурентная среда их функционирования в Красноярском крае.

Для того чтобы лучше понять сущность и специфику рынка образовательных услуг, приведем несколько общих определений образования, сферы образования и образовательной услуги.

Определение, в соответствии с которым под образованием понимают процесс и результат совершенствования способностей и поведения личности, когда она достигла социальной зрелости и индивидуального роста, показывает, что они практически ничем не отличаются друг от друга, утверждено двадцатой сессией Генеральной конференции ЮНЕСКО в 1978 г.

Согласно Закону Российской Федерации «Об образовании» от 10 июля 1992 г. № 3266-1, под образованием понимается целенаправленный процесс воспитания и обучения в интересах человека, общества, государства, сопровождающийся констатацией достижения гражданином (обучающимся) установленных государством образовательных уровней (образовательных цензов). Вместе с тем, сфера образовательных услуг определяется как целостный, социокультурный комплекс, имеющий свою специфику и особенности функционирования и взаимодействия со всеми общественными структурами.

Образовательная услуга – целый комплекс действий воспитательного и обучающего характера учебной, научно-исследовательской, организационной и воспитательной областях, направленный на удовлетворение потребностей индивида, в результате осуществления которого происходит совершенствование имеющихся и приобретенных навыков.

Любое учебное заведение, в том числе вуз, предоставляет обществу образовательные услуги определенного вида, потребителями которых являются учащиеся и студенты, и одновременно представляет на рынке труда результаты своей деятельности, потребителями которых являются предприятия и организации различных отраслей экономики всех форм собственности. Эта двойственность вносит значительную путаницу в определение продуктов деятельности, целевых рынков сбыта и групп потребителей. Действуя одновременно на двух связанных и взаимозависимых рынках – рынке образовательных продуктов и услуг и рынке труда вуз, тем не менее имеет один продукт, с которым он выходит на оба рынка. Все исследователи сходятся на том, что основным направлением деятельности вуза является предоставление образовательных услуг, но не дают однозначного определения, что именно представляет собой образовательная услуга, является ли она, например, лекцией преподавателя, полным курсом подготовки специалиста, организацией студенческого научного общества или проведением конференции с представителями отрасли. Более точное определение продукта чрезвычайно важно для понимания конкретной услуги в общей деятельности вуза.

С точки зрения основной деятельности вуза и классической теорией маркетинга продуктом рынка образовательных услуг является образовательная программа, которая разрабатывается для того, чтобы удовлетворить потребность в образовании, профессиональной подготовке, обучении или переподготовке, т. е. достижении определенного социального эффекта (изменении образовательного или профессионального уровня). Именно с этим продуктом выходит на рынок образовательное учреждение, а не предлагает отдельные образовательные услуги в виде лекций, семинаров и т. п. Таким образом, продукт вуза можно определить как образовательную программу, т. е. комплекс образовательных услуг, нацеленный на изменение образовательного уровня или профессиональной подготовки потребителя и обеспеченный соответствующими ресурсами образовательной организации. В зависимости от своих возможностей и потребностей клиентов вузы предлагают различный ассортимент таких программ.

Говоря о роли рынка образовательных услуг в обществе, необходимо отметить, что высшее образование реализует не только инструментальную функцию воспроизводства высококвалифицированных профессиональных кадров, но и функции социальной мобильности, наращивания интеллектуального потенциала общества, распространения наиболее социально значимых культурных норм. Иными словами, высшее образование решает разнообразные задачи: социальные, политические и индивидуально-личностные.

Высшее профессиональное образование – наиболее динамично развивающийся уровень образовательной системы России. Отечественные и западные эксперты отмечают, что в XXI в. преимущество будет на стороне экономически развитых стран, способных подготовить образованных и высококвалифицированных специалистов, представляющих интеллектуальный потенциал страны.

Традиционно высшее образование разделяется на два этапа: бакалавриат и магистратуру/аспирантуру, но в России до присоединения к Болонскому процессу такое разделение относилось только к аспирантуре, а вместо бакалавров и магистров вузы готовили специалистов. Основными учреждениями высшего образования являются университеты и колледжи. Выпускники вузов обычно получают диплом, а аспирантам по итогам защиты кандидатской диссертации может быть присуждена ученая степень. На последнем этапе обучения студенты и аспиранты обязаны не только получать образование в обычном смысле этого слова, но и принимать непосредственное участие в научных исследованиях, а получение диплома или ученой степени зависит от результатов научной работы.

Система образования представляет собой сложную организационную структуру, ее постоянное обновление обусловлено сдвигами в социальной структуре страны и меняющимися интересами различных слоев и групп населения, а также общими тенденциями развития процессов модернизации во всем мире.

Изучение состояния рынка образовательных услуг Красноярского края приобретает все большую актуальность в связи с повышением престижности высшего профессионального образования (ВПО), а также реформой и адаптацией российской модели образования к западной в рамках Болонского процесса.

Увеличивающееся из года в год количество студентов высших учебных заведений отражает рост престижности высшего образования в Красноярском крае, вызванный тем, что в настоящее время именно специалисты с высшим образованием востребованны на рынке труда. В свою очередь, рост числа студентов, желающих получить высшее образование, привел к расширению филиалов красноярских государственных вузов (в городах Норильск, Лесосибирск, Ачинск, Канск, Минусинск, Дудинка и Тура), а также к появлению в Красноярском крае филиалов вузов из других городов России (Москвы, Омска, Новосибирска, Санкт-Петербурга, Иркутска) [1].

При этом следует отметить, что расширение предложения на рынке высшего профессионального образования в городе Красноярске и Красноярском крае происходит не только за счет роста количества вузов, но и в значительной степени благодаря появлению и ужесточению конкуренции на рынке высшего образования. Стремясь удерживать конкурентные позиции на рынке образовательных услуг, практически все вузы города открывают новые специальности и специализации. Так, возросший в конце 1990-х гг. спрос на экономические и юридические специальности привел к тому, что сегодня каждый вуз города Красноярска, вне зависимости от его специфики и формы собственности, если и не имеет в своей структуре экономический или юридический факультет, то непременно предлагает обучение по вышеуказанным специальностям.

Сегодня каждый вуз также ставит перед собой задачу расширения предложения, но этот процесс уже не имеет такого «спонтанного» характера. Прежде чем выйти на рынок образовательных услуг с новым предложением, руководство вуза старается понять, в каком именно «товаре» нуждается потребитель, насколько та или иная специальность будет востребованна как со стороны потенциальных потребителей, так и со стороны работодателей. Например, в период 2005–2008 гг. были проведены следующие нововведения: Красноярский государственный аграрный университет открыл три новые специальности: на агрономическом факультете – «Защита растений», на экономическом – «Финансы и кредит» и на международном – «Управление персоналом», поскольку анкетирование учащихся выпускных классов и работодателей выявило, что выпускники именно этих специальностей будут пользоваться спросом. В Красноярском государственном университете на филологическом факультете появились новые направления: страноведение (польский язык и литература); филологическое обеспечение документооборота (где будут готовить высококвалифицированных референтов).

Постепенно расширяется объем и структура предложения с точки зрения форм обучения. Сегодня в высших учебных заведениях региона существуют очная, заочная и вечерняя формы обучения. Большей популярностью пользуется очная и заочная формы обучения, а вот спрос на такую форму обучения, как вечерняя, крайне низок, что повлекло за собой практически полное отсутствие ее предложения.

В ряде вузов (в рамках отдельных факультетов или специальностей) существует новая форма обучения – экстернат. Ее появление было обусловлено необходимостью получения высшего образования в сокращенные сроки. Официально данная форма залицензирована всеми вузами, однако фактически подготовку студентов по форме экстерната осуществляют лишь восемь вузов города Красноярска (КГПУ, СибГАУ, КрасГУ, СибГТУ, МАП, МЭСИ, ТУСУР, УИИТ). Кроме того, существует некая альтернатива этой форме получения высшего образования – обучение по так называемому индивидуальному плану. При этом руководство вузов, использующих систему индивидуальных планов, видит за данным методом обучения будущее, отмечая ее преимущества перед экстернатом, а именно – значительную экономию средств студента [1].

Все большую популярность получает дистанционный метод, применяемый при заочной форме обучения. Суть его заключается в том, что обучение студентов производится без непосредственного выезда студентов для посещения вуза, зачеты и экзамены при этом принимаются в письменном и электронном виде, при выполнении заданий необходимо присутствие контролирующего процесс тренера либо другого специалиста. Сегодня дистанционный метод обучения используется далеко не всеми вузами города Красноярска и, так же как экстернат, введен лишь на отдельных факультетах или специальностях.

Внутри очной формы обучения многие вузы, отвечая требованиям Болонского соглашения, выделяют бакалавриат и магистратуру, о чем говорилось ранее. Стоит еще раз отметить, что, несмотря на существование федеральной программы реформирования системы высшего образования, руководство каждого вуза самостоятельно решает для себя данный вопрос. Сегодня складывается довольно парадоксальная ситуация: уже к 2010 г. все вузы России должны осуществлять подготовку студентов согласно положениям Болонского соглашения, но в данный момент лишь несколько вузов города Красноярска стараются на практике вводить данную систему (и то лишь частично в рамках отдельных факультетов и специальностей).

Вузы города Красноярска и Красноярского края сегодня расширяют предложение в области образовательных услуг в ответ на повышающийся спрос. Появление новых специальностей, специализаций, методов обучения – это не что иное, как повышение конкурентоспособности вузов на рынке образовательных услуг в области высшего профессионального образования, качественно иная ступень его развития.

Практически во всех ведущих вузах города Красноярска и Красноярского края имеются специальности экономического профиля. На основании исследований рынка образовательных услуг города Красноярска и Красноярского края, специальность «Экономика и управление» является очень востребованной, численность студентов, обучающихся по этой специальности составила 32 157 чел., принято 7 079 чел. в 2009 г. на обучение, по данной специальности выпущено 5 059 специалистов в 2008 г. Особенностью предложения в области высшего профессионального образования по данной специальности является узкая специализация, т. е. практически каждый вуз предлагает обучение по специальности «Экономика и управление

на предприятии» в отдельной отрасли народного хозяйства (торговля, сельское хозяйство, энергетика и т. п.).

В регионе действуют 11 вузов и 26 филиалов высших учебных заведений, по данным за 2009 г. территориального органа федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю Красноярскстат. Общая численность студентов в 2009 г. составила 118 822 человека, а в 2008 г. – 117 906 человек, что подтверждает, что число студентов высших учебных заведений растет. Из данного числа студентов за 2009 г. численность студентов, обучающихся на очных отделениях составила 63 219 человек, очно-заочных отделениях – 2 207 чел., заочных отделениях – 44 875 чел., экстернате – 8 521 чел. На основании представленных данных можно сделать вывод, что приоритетной формой обучения на сегодняшний день является очная форма обучения, хотя стоит заметить, что развивается такая форма обучения, как экстернат. Как показывают данные за 2008 г., по форме «экстернат» обучались 4 458 чел., а в 2009 г. – 8 521, т. е. количество студентов, обучающихся на отделениях «экстернат» стремительно растет [2].

Таким образом, можно представить в определенной степени конкурентную среду высших учебных заведений Красноярского края и города Красноярска. Несомненно, каждый вуз имеет свою специфику, собственный потенциал, различную репутацию и позицию на рынке высшего профессионального образования. Однако не вовремя использованные возможности и незамеченные угрозы могут привести к серьезным последствиям. Учитывая возросшую конкуренцию на рынке высшего профессионального образования, вузы города Красноярска стремятся постоянно отслеживать изменения, происходящие во внешней и внутренней среде.

Можно отметить, что для большинства крупных государственных вузов города Красноярска сильными сторонами являются высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав, хорошая репутация, обеспеченная материально-техническая база и т. д. Для филиалов других регионов сильными сторонами выступает низкая стоимость обучения, возможность обучения на заочной форме обучения с использованием дистанционного метода обучения. Слабые стороны для большинства вузов – высокая стоимость обучения, отсутствие последующего трудоустройства студентов на практику и узкая направленность в рамках одной специальности. Для филиалов же основной слабой стороной можно назвать низкую репутацию и недоверие со стороны населения, а также отсутствие очной формы обучения.

Происходящие в российском обществе глубокие экономические и политические преобразования, оказывают воздействие и на систему высшего образования в Красноярском крае и в стране в целом. Огромный потенциал российской высшей школы переживает сегодня один из самых тяжелых этапов в своем развитии. Экономический кризис в стране, либерализация цен, инфляционные процессы, дефицит государственного бюджета и кризис бюджетного финансирования – все это привело к тому, что учреждения образования Красноярского края испытывают острую нехватку финансовых и материально-технических ресурсов, государственное финансирование запаздывает и не покрывает всех потребностей вузов. Вследствие этого сворачиваются фундаментальные исследования, разрушаются научные школы, усиливается социальная дифференциация в доступе к качественному образованию, снижается уровень социальной поддержки учащихся и работников системы образования.

Становление рыночных отношений в сфере образования и развитие инфраструктуры рынка образовательных услуг в Красноярском крае носит противоречивый характер. С одной стороны, в результате активной адаптационной деятельности многих учебных заведений всех ступеней образования, а также ряда мер, принятых на федеральном уровне и в части регионов, наметились и развиваются позитивные тенденции, формируется новая законодательная база, происходит перераспределение управленческих функций, возникают элементы многоканального финансирования, обновляется содержание образовательных программ и др. С другой стороны, обозначился и все более обостряется ряд проблем, к которым, в первую очередь, можно отнести неприспособленность значительного числа вузов к работе в условиях нарастающей конкуренции.

В сложившихся условиях остро встает проблема повышения конкурентоспособности вузов на рынке образовательных услуг Красноярского края. Поэтому исследование теоретических и методологических основ повышения конкурентоспособности вузов и выработка практических рекомендаций, учитывающих региональные особенности их функционирования, приобретают особую актуальность.

Образовательное учреждение является частью сформировавшейся в регионе сферы образования, входящей в одну из сфер народного хозяйства. Развитие рыночных отношений в России коренным образом изменило экономические условия функционирования государственных вузов. В этой связи перед вузами города Красноярска остро встали проблемы обеспечения жизнеспособности, поддержания финансового состояния на достаточном уровне и поиска источников устойчивого развития. Основной характеристикой, отражающей способность вуза успешно предлагать свои услуги на рынке образования, является его конкурентоспособность. Ключевым моментом предпринимательской деятельности вуза является организация работ по повышению собственной конкурентоспособности [3].

Учитывая, что вуз является организацией с широким спектром различных видов деятельности, оценка его конкурентоспособности может быть только многокритериальной.

В условиях конкуренции любые недостатки и преимущества вузов непременно принимают характер, соответственно, конкурентных недостатков и конкурентных преимуществ – преимуществ над соперниками и недостатков перед соперниками, которые становятся ключевыми оценочными критериями определения степени их конкурентоспособности. Создание конкурентных преимуществ и преодоление конкурентных недостатков выступает как одна из основных целей соперничества заинтересованных сторон рынка образовательных услуг. В свою очередь, наличие конкурентных преимуществ обеспечивает

участникам этого рынка признание и интерес со стороны окружения, наличие конкурентных недостатков ослабляет их позиции на рынке образовательных услуг, делает их малопривлекательными для окружения.

Эти преимущества и недостатки выявляются и оцениваются в процессе сравнения вузов, их значения часто имеют относительный характер, что неизбежно несет отпечаток относительной неопределенности и ведет к рискам при использовании полученных данных. Поэтому существует необходимость более глубокой проработки проблемы конкурентоспособности высших учебных заведений и разработки новых методов и моделей оценки конкурентоспособности вузов для получения точных данных и применения их в дальнейшем для разработки мероприятий по повышению конкурентоспособности вузов [4; 5].

Для решения проблемы оценки конкурентоспособности вузов автором были выделены основные факторы, на основании которых можно повести качественную и количественную оценку:

– качество;

– цена;

– доля рынка;

– реклама и информационное обслуживание.

После исследования факторов конкурентоспособности организаций, автором было принято решение остановиться на вышеизложенных четырех факторах, так как большинство методов оценки конкурентоспособности организаций и предприятий основаны на одном либо двух факторах, а как говорилось выше, оценка конкурентоспособности организаций может быть только многокритериальной, если данная оценка претендует на объективность.

Автором в процессе исследования был обоснован выбор вышеуказанных четырех факторов конкурентоспособности.

Качество образовательных услуг – наиболее значимый фактор конкурентоспособности для вуза. Потребители образовательных услуг при выборе подходящего учебного заведения для удовлетворения своих потребностей в повышении своего образовательного уровня, в соответствии с существующими образовательными цензами, осуществляют свой выбор, ориентируясь на то, какое высшее учебное заведение лучше удовлетворит эти потребности.

В ГОСТ ИСО 9000–2001, дано следующее определение качеству: «Качество – степень соответствия присущих объекту характеристик установленным требованиям».

Цена образовательных услуг. В настоящее время развития рыночных отношений, важным фактором при выборе высшего учебного заведения является уровень оплаты за обучение. Основная масса студентов проходит обучение на платной основе: количество бюджетных мест, как и бюджетное финансирование государственных высших учебных заведений, постоянно сокращается. Отсутствие достаточных финансовых ресурсов или возможности оплачивать обучение обусловливают то, что для потребителей образовательных услуг цена является определяющим фактором при выборе высшего учебного заведения.

Доля рынка – данный фактор является важным для обеспечения конкурентоспособности вуза, так как чем больше студентов обучается в конкретном вузе, тем выше его конкурентоспособность, это указывает на то, сколько студентов отдали свое предпочтение конкретному высшему учебному заведению. Если на протяжении нескольких лет можно отследить динамику увеличения доли рынка конкретного вуза, то на основании этого можно сделать вывод о том, что оно является конкурентоспособным.

Реклама и информационное обслуживание – является важным фактором для обеспечения конкурентоспособности вуза, потому что если вуз аккредитован, его преподавательский состав укомплектован квалифицированными кадрами и у вуза в наличии находятся все необходимые ресурсы для предоставления качественных образовательных услуг, то необходимо обеспечить информированность об этом потенциальных потребителей услуг вуза. Вузам необходимо информировать своих потребителей о предоставляемых услугах, о их качестве, ценах и т. д., это будет способствовать росту доли рынка и развитию конкуренции на рынке образовательных услуг.

Следует отметить, что оценка качества как отдельного фактора конкурентоспособности осуществлялась на основании нескольких аккредитационных показателей:

– числа укрупненных групп специальностей;

– процента профессорско-преподавательского состава с учеными степенями и учеными званиями;

– процента докторов наук и (или) профессоров;

– процента профессорско-преподавательского состава работающего в вузе на штатной основе;

– числа отраслей науки по специальностям научных работников аспирантуры;

– числа отраслей науки, в рамках которых выполняются научные исследования.

Для оценки каждого фактора конкурентоспособности высшего учебного заведения автором была разработана специальная оценочная шкала, а затем были применены математические методы и разработана математическая модель оценки конкурентоспособности высших учебных заведений.

Таким образом, комплексное исследование конкурентоспособности высших учебных заведений на рынке образовательных услуг города Красноярска и Красноярского края и факторов их конкурентоспособности может применяться при разработке мероприятий по повышению конкурентоспособности вузов региона. Основные теоретические выводы исследования могут быть использованы в качестве учебных материалов для преподавания таких дисциплин, как «Маркетинг», «Экономика образования», «Основы предпринимательства» и др.

Библиографические ссылки

1. Терещенко Н. Н., Бондаренко И. В. Исследование рынка образовательных услуг высшей школы : моногр. / под. общ. ред. Н. Н. Терещенко ; Краснояр. гос. ун-т. Красноярск, 2005.

2. Общеобразовательные учреждения, средние специальные и высшие учебные заведения в Красноярском крае на начало 2008/09 учебного года : стат. бюл. № 5–116. Красноярскстат, 2009. С. 49–55.

3. Азоев Г. Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика. М. : Центр экономики и маркетинга, 2006.

4. Фатхутдинов Р. Ориентация обучения на конкурентоспособность // Высшее образование в России. 2007. № 9.

5. Фатхутдинов Р. Управление конкурентоспособностью вуза // Высшее образование в России. 2006. № 9.

E. A. Kalashnikova

COMPETITIVENES OF INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION IN THE MARKET OF EDUCATIONAL SERVICES OF A CITY OF KRASNOYARSK AND KRASNOYARSK REGION

The article considers competitiveness of higher educational institutions in the market of educational services of Krasnoyarsk region, gives definition «the higher vocational training» is given. The problem urgency is proved, the general approaches and conditions of research of competitiveness of higher educational institutions are shown, and the major factors for competitive ability estimation are allocated.

Keywords: competitiveness, a higher educational institution, formation, services, competitiveness factors.

© Калашникова Е. А., 2010

УДК 330.8

О. В. Пацук

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методология оценки экономической эффективности различных территорий принципиально едина, она не зависит от их размера и структуры. Однако конкретные методические приемы расчета могут отличаться в зависимости от упомянутых особенностей. Немаловажное значение для выбора метода исследований имеет тип самого модульного комплекса и специфика решаемой задачи.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие территорий, прогнозирование развития экономических систем.

Системный анализ показателей социально-экономического развития региона является структурой с множеством частных показателей. В зависимости от поставленной задачи управления в нее могут включаться критерии, отражающие социальный, экономический и другие эффекты варианта развития. Методология анализа и прогнозирования развития экономической системы региона основывается на следующем:

– на сочетании формального и неформального подходов в системе принятия решения;

– экспериментальном подходе в реализации той или иной модели;

– математической и технологической поддержке вычислительного эксперимента на имитационных моделях.

Разработка моделей помогает осознанию существующей проблемы, облегчает процесс принятия решения, но не может заменить опыт и интуицию эксперта. В связи с этим развитие неформального подхода при осуществлении управления региональной экономикой основано на применении экспертных систем, использовании методов искусственного интеллекта. В таких модельных комплексах, как региональные системы управления, в условиях многокритериальности применение методов оптимизации плановых решений ограничено сложностью их реализации, так как практически невозможно при наличии неполной информации математически точно сформулировать цели и разработать оптимальный вариант. Поэтому при разработке системы управления экономикой на региональном уровне основным является метод *имитационного моделирования*, который через предварительно проведенное аналитическое исследование с помощью применения методов социально-экономического прогнозирования обосновывает полученные результаты математически, что позволяет решать задачи социально-экономического развития, разрабатывать реальные стратегии и выбирать рациональные варианты развития.

Развитие социально-экономической системы становится возможным потому, что орган управления непрерывно получает диагностическую информацию о ее состоянии, и состоянии внешней среды, об отклонениях в движении социально-экономической системы к цели, перерабатывает эту информацию в плановые решения и изменяет состояние объектов управления в нужном направлении, обеспечивая достижение поставленных целей. В исследованиях регионоведов используется целый комплекс научно-исследовательских методов:

1. Системный анализ, который опирается на принцип последовательности через постановку цели, определение задач, формулировку научной гипотезы, комплексное

изучение особенностей оптимального варианта размещения отраслей. Этот метод позволяет изучать структуры видов деятельности, их внутренние связи и взаимодействие.

2. Метод систематизации, связанный с разделением изучаемых явлений и критериев на совокупности, характеризуемые определенной общностью и отличительными признаками (классификация, типология, концентрация и др.).

3. Балансовый метод, который характеризуется становлением различных региональных балансов (натуральных, финансовых, трудовых и др.).

4. Метод экономико-географического исследования, который подразделяется на три составные части: региональный метод (исследование путей формирования и развития территорий); отраслевой метод (изучение развития и размещения общественного производства по видам деятельности и в географическом аспекте); местный метод (исследование путей формирования и развития производства отдельного города, селения).

5. Картографический метод, позволяющий наглядно проиллюстрировать особенности размещения.

6. Метод экономико-математического моделирования, который позволяет моделировать территориальные пропорции развития экономики региона, формирования хозяйственных комплексов. Используя современные электронные средства, он дает возможность с минимальными затратами труда и времени обрабатывать разнообразный статистический материал, исходные данные, характеризующие уровень, структуру и особенности социально-экономического комплекса региона, а также выбирать оптимальные варианты модели в соответствии с поставленными перед региональным исследованием целями.

7. Методы многомерного статистического анализа, связанные с обработкой статистических данных. Одним из распространенных методов анализа многомерной информации является факторный анализ, или кластер-анализ. Он исследует влияние различных факторов (причин) на результативный показатель. В исследованиях социально-экономического развития регионов в настоящее время используется метод главных кластеров и метод порядковой классификации объектов регионального анализа.

Одним из первых видов статистических моделей, используемых в региональных исследованиях, была модель экономической базы, которую сформулировал в 30-е гг. XX в. ученый Г. Хойт (США). Анализ экономической базы является ускоренным методом прогнозирования регионального экономического роста, при этом используется упрощенная теория роста и минимальные потребности в информации. Для построения этих моделей необходимы показатели экономической активности, в основном занятости, за два периода времени. Полученные результаты сводятся к прогнозированию развития базисного и обслуживающего секторов.

Регионометрикой называется научное направление в региональной экономике, занимающееся применением математических методов (региональным моделированием), среди которых выделяют следующие.

Метод таксонирования – процесс членения территории на сопоставимые или иерархические соподчиненные таксоны, т. е. равнозначные или иерархически соподчиненные территориальные ячейки. Фактически процесс районирования на любом уровне является таксонированием, так как его объектом выступают регионы, в связи с чем употребляется такое понятие, как регионализация.

Вариантный метод размещения производительных сил региона, который чаще всего используется при разработке схем размещения производства по территории региона на первых этапах планирования и прогнозирования. Он предусматривает исследование вариантов различных уровней развития хозяйства регионов и территориальных экономических пропорций.

Методы социологических исследований, включающие стандартизированные интервью, индивидуальные собеседования с представителями разных видов деятельности и сфер социально-экономического комплекса региона; анализ выступлений руководящей элиты регионов, ученых и специалистов и т. д.

Методы сопоставления региональных уровней жизни населения и прогнозирования развития региональной социальной инфраструктуры. Они исследуют уровень жизни населения различных территорий на основе системы синтетических и частных показателей. Это связано с тем, что основная цель анализа заключается в выявлении фактически сложившихся различий в уровне жизни и достижений относительно равной степени удовлетворения потребностей населения всех регионов, которые непосредственно связаны с развитием региональной социальной инфраструктуры.

Таким образом, изучение региональных социально-экономических систем опирается на широкий круг методов и способов исследований, которыми активно пользуются регионоведы. Кроме этого выделяют также *концепции волнообразного развития*, являющиеся неотъемлемой частью методологии долгосрочного прогнозирования динамики в системе государственного регулирования национальной экономики [1]. В настоящее время известно несколько классификаций теорий волнового развития. Согласно классификации С. М. Меньшикова и Л. А. Клименко различаются следующие концепции развития:

1) монетаристские и кредитные концепции, согласно которым основную роль в возникновении колебаний развития играют денежные факторы;

2) концепции изменения интенсивности в воспроизводстве капитальных благ (Кондратьев, Мандель, Форрестер);

3) теории колебания отдельных факторов производства, которые и вызывают отклонения от тренда экономического развития (у Фридмена это чередование избытка и недостатка труда; у Ростоу – недостаток и избыток пищи и сырья; теория Крейга и Уатта);

4) неошумпетерианские концепции, исследующие переход экономической системы из одного равновесного состояния в другое в каждой длинной волне; особое значение здесь придается кластерам нововведений, составляющих материальную основу такого перехода (концепции Менша, Вейдлиха, Уордла, Вийкампа, Ньюкампа и др.);

5) институциональные концепции, согласно которым длинные волны порождаются основными хозяйственными и политическими институтами (теории Перес-Перес, Чандлера, Калецкого, Скрепанти).

Выделяют также другую классификацию концепций волнового развития:

1. Концепция инвестиций, согласно которой считается, что длинная волна определяется периодически происходящим накоплением, а затем обесценением капитальных благ длительного пользования (Кондратьев, Форрестер, Стерман).

2. Инновационная концепция, полагающая, что ключевую роль в образовании волны играют кластеры нововведений, создающие лидирующий сектор в экономике, расширение которого обусловливает соответствующий цикл экономической конъюнктуры (Шумпетер, Менш).

3. Теория капиталистических кризисов, которая приходит к выводу, что тенденция нормы прибыли к понижению вызывает кризис, преодолеваемый благодаря экзогенным по отношению к экономике факторам, что повышает на некоторое время норму прибыли и создает условия для нового длительного подъема экономической конъюнктуры (Мандель, Дэй).

Основным методом, используемым при разработке волновой теории, является *выделение трендов*, в связи с чем использовались различные функции, описывающие изменение экономических показателей во времени. При помощи метода наименьших квадратов, позволяющего отсеивать неприемлемые траектории и отобрать подходящие, рассматривались различные зависимости, определяемые фактической динамикой измеряемого показателя. Отклонения от тренда обрабатываются при помощи специальных функций-фильтров, наиболее распространенными среди них являются 9-, 21- и 51-летние скользящие средние.

Другой распространенный способ исключения тренда – переход от наблюдаемых показателей к первым разностям, которые также подвергаются статистической обработке и различным преобразованиям (возведению в квадрат, выравниванию при помощи скользящих средних и т. д.). Отклонения от тренда, более или менее отличающиеся друг от друга по величине и амплитуде, рассматриваются как доказательство существования волны.

Сложной проблемой в волновой теории является не статистическое исследование ретроспективных расчетов, а построение прогнозных моделей длинных волн для изучения их поведения в будущем и долгосрочных тенденций развития экономики. Кроме этого вызывает трудность разработка практических методов антициклической политики во избежание затяжных экономических кризисов или для смягчения их последствий, так как необходимо учитывать неравномерность экономического роста, систематические сдвиги в структуре экономической системы. В настоящее время построение разного рода имитационных моделей на базе ЭВМ лучше всего способствует прогнозированию структурных сдвигов.

Одним из вариантов циклического развития экономических систем является *модель Тевеса*, которая дает динамическую интерпретацию цикла, основанную на взаимодействии мультипликатора и акселератора в экономической системе через ставку процента по капитальным вложениям [2]. Особенностью модели является то, что изменение величины капитальных вложений рассматривается в качестве основного источника циклических колебаний. Модель Тевеса разделяет спрос на инвестиции по двум направлениям: для получения или дополнения существующего объема оборотных средств и для создания или поддержания основных фондов экономической системы. В модели ставка процента является функцией времени, а величина инвестиций – функцией от ставки процента:

$$L_t = L_y Y_{t-1} + L_i i_t, \qquad (1)$$

где L_t – спрос на инвестиции (необходимые инвестиции); L_y – необходимые инвестиции для оборота; Y_{t-1} – совокупный доход прошлого периода; L_i – фондообразующие капитальные вложения; i_t – текущая ставка процента.

Модель Калдора является динамической моделью экономического цикла, где объем сбережений является нелинейной возрастающей функцией от дохода. Циклическое развитие прослеживается в динамике показателей инвестирования и сбережения с учетом разнообразных видов деятельности региона. Равновесными точками экономической системы считаются точки пересечения графиков сбережений и инвестиций, а аналитически их координаты находятся при условии равенства объемов этих показателей. Основным постулатом рассматриваемой модели является то, что в результате встречного движения кривых сбережений и инвестиций равновесие превращается из устойчивого в неустойчивое, что характеризует начало очередного экономического цикла.

Развитие экономики складывается из периодов подъемов и спадов конъюнктуры, закономерности которых связаны с волнообразным характером экономической динамики, т. е. предстает как проблема делового цикла. В модели *Самуэльсона–Хикса* механизмы колебания экономической динамики объясняются исходя из принципа акселерации и концепции мультипликатора. В основе принципа акселерации находится положение о том, что масштабы инвестирования зависят от прироста или темпов изменения спроса на конечную продукцию. Порождаемый вследствие этого инвестиционный спрос кратен спросу на конечную продукцию. Степень его кратности называют *фактором акселерации*. Особенностью модели является то, что она связывает доход конкретного периода с суммой потребления и инвестирования и рассматривает автономное инвестирование как не зависящее от изменения дохода. Модель Самуэльсона–Хикса может быть представлена следующей формулой:

$$Y_t = C_a + MPCY_{t-1}, \qquad (2)$$

где Y_t – совокупный доход; C_a – автономное потребление; MPC – предельная склонность к потреблению.

В данной модели динамику колебания совокупного дохода определяют значения предельной склонности к потреблению или мультипликатора и акселератора. Основными формами колебания совокупного дохода является движение величины совокупного дохода, затухающие колебания, взрывные колебания величины совокупного дохода, монотонный бесконечный рост показателя, равномерные незатухающие колебания.

В расширенной модели инвестиции дезагрегируются на три структурных компонента:

– «экстенсивные» инвестиции, направляемые на увеличение запаса капитала существующей технологии;

– «интенсивные» инвестиции, направляемые на введение капитала, использующего новую технологию, и ведущие к повышению производительности факторов производства;

– «инновационные» инвестиции, направляемые на создание новых продуктов и сфер производства.

Рассматриваемая модель описывается системой линейных дифференциальных уравнений и может иметь лишь одно равновесное состояние, отклонение от которого либо уменьшается со временем (устойчивое решение), либо возрастает до бесконечности (неустойчивое решение). Управляющие параметры – производительность труда (отражающий интенсивный характер НТП) и капиталовооруженность (экстенсивный) –действуют на выпуск продукции через механизм нормы прибыли или в некотором сочетании с ним.

Модель системной динамики Дж. Форрестера является имитационной. Она состоит из шести блоков – производство, финансы, домовладельцы, население, трудовые ресурсы, правительство – в которых задаются соотношения, определяющие потребление, инвестиции, занятость, цены, правительственную политику, взаимодействие секторов. Варьируя распределением инвестиций между секторами, можно моделировать варианты движения экономики, создавать различные сценарии развития региональной экономической системы. Так, производственный блок включает более 15 производящих секторов, в основе которых лежит производственная функция типа Кобба–Дугласа с 12-ю факторами, а также система балансовых уравнений. В непроизводственных блоках моделируется большое число различных взаимосвязанных процессов, среди которых следует выделить модели финансово-кредитных институтов, государственного потребления и внешних связей.

Методика выявления циклических фаз развития экономической системы основана на совместном анализе роста выпуска продукции и структурных изменений в нем. Этот инструментарий структурно-динамического анализа раскладывает темпы роста на инерционную и реконструктивную компоненты и изучает влияние структуры экономической системы на ее динамику. Среди основных разработчиков *методов структурно-динамического подхода* отмечают Р. Акоффа, В. Леонтьева, Дж. фон Неймана, Л. В. Канторовича и их современных последователей, например Л. А. Дедова [3]. Для решения указанной задачи применяется разложение индекса физического объема выпуска на составляющую, связанную с инерцией выпуска и сопряженную со структурными изменениями в нем. Промежуточным расчетным показателем является индекс изменения физического объема выпуска λ:

$$\lambda = \frac{\sum y_i q_i}{\sum A_i q_i}, \qquad (3)$$

где y_i – фактическое или отчетное значение количества выпуска сектора; A_i – базовое количество продукции сектора i (величины y_i и A_i измеряются в естественных товароведческих мерах); q_i – опорные цены, по которым количества y_i и A_i переводятся в стоимостное измерение.

Можно записать следующее:

$$\lambda = \sum h_i d_i, \qquad (4)$$

$$h_i = y_i : A_i,$$

$$d_i = (A_i q_i) : \sum A_i q_i, \qquad (5)$$

где h_i, – темп (индекс) роста i-го компонента выпуска; d_i – доля i-го сектора в базовом составе выпуска; $\sum d_i = 1$.

Кроме базовых долевых характеристик выпуска приходится оперировать с долевыми характеристиками «отчетного» состава P_i, которые исчисляются по формуле

$$P_i = \frac{y_i q_i}{\sum y_i q_i}. \qquad (6)$$

Между величинами d_i и P_i имеется взаимосвязь вида

$$P_i = \frac{d_i h_i}{\lambda}. \qquad (7)$$

Для сравнения структур применяются несколько оценок. Наиболее распространена оценка общего структурного сдвига:

$$m = 0,5 \sum \left| P_i - d_i \right|. \qquad (8)$$

В экономической статистике применяется мера, по свойствам противоположная оценке структурного сдвига и называемая коэффициентом сходства m^*, который показывает, насколько совпадают по своему строению начальная и фактическая долевые структуры. Оценка структурного сдвига характеризует уровень изменений объекта, т. е. представляет собой характеристику реконструктивного компонента в эволюции структуры. Мера сходства может быть истолкована как количественная оценка инерционности:

$$m^* = 1 - m. \qquad (9)$$

Разложение индекса физического объема выпуска на составляющие осуществляется с помощью метрического подхода. В динамике выпуска можно установить три эффекта:

1. Эффект изменения масштаба выпуска продукции как таковой (λ).

2. Эффект вытеснения, который проявляется в том, что если в выпуске есть структурный сдвиг, то обязательно доли некоторых продуктовых групп увеличатся. Совокупная доля этих групп возрастет, они как бы вытеснят в долевой структуре выпуска другие номенклатурные позиции. Мерой эффекта вытеснения служит сумма соответствующих приростов:

$$\sum (P_i - d_i) = m; \qquad (10)$$

3. Эффект сжатия, который выражается в том, что доли некоторых продуктовых групп в общей сумме долей снижаются. Количественно эффект сжатия выражается суммой соответствующих уменьшений, т. е. это величина

$$\sum (P_i - d_i) = -m. \qquad (11)$$

Эффекты вытеснения и сжатия одинаковы, но имеют противоположные знаки; они с разных сторон характеризуют общее явление – структурный сдвиг.

Осуществим преобразования типа $\lambda = (h_1 d_1 + h_2 d_2 + ... + h_n d_n)$ и выделим долевую структуру выпуска, для чего вынесем за скобки из правой части величину λ:

$$\lambda = \lambda(h_i d_i : \lambda + h_2 d_2 : \lambda + ... + h_n d_n : \lambda) =$$

$$= \lambda(P_1 + P_2 + ... + P_n). \qquad (12)$$

Отсюда

$$P_i = d_i + I_i, \qquad (13)$$

где I_i – изменение i-й доли при переходе от долевой структуры $d = (d_1, d_2, ..., d_n)$ к долевой структуре $P = (P_1, P_2, ..., P_n)$.

Учитывая, что $I_i = P_i - d_i$, в последнем выражении выделим эффект сжатия:

$$\sum I_i = \sum (P_i - d_i) = -m \qquad (14)$$

и эффект вытеснения:

$$\sum I_i = \sum (P_i - d_i) = m. \qquad (15)$$

Будем иметь следующее:

$$\lambda\left(\sum d_i + \sum I_i + \sum I_i\right) =$$
$$= \lambda\left[\sum d_i + \sum (P_i - d_i) + \sum (P_i - d_i)\right] =$$
$$= \lambda(1 - m + m) =$$
$$= \lambda(1 - m) + \lambda m = \lambda m^* + \lambda m. \qquad (16)$$

Оценку λm^* воспринимают как меру сходства «исходной» и «отчетной» структур выпуска продукции, приведенную к масштабу индекса роста λ. Соответственно, λm задает реконструктивный компонент выпуска. Получается разложение индекса роста на две составляющие – инерционную и реконструктивную.

Следующий этап – разложение нормы роста. Индекс роста λ можно записать следующим образом:

$$\lambda = y : A = (A + \Delta) : A = 1 + \Delta : A = 1 + N; \qquad (17)$$

$$y = \sum y_i q_i,$$
$$A = \sum A_i q_i,$$
$$\Delta = y - A,$$
$$N = \Delta : A. \qquad (18)$$

где N – норма роста выпуска.

Целесообразно перейти от темпов роста к норме роста, и соответственно, к разложению нормы роста на реконструктивную и инерционную:

$$N = \lambda - \lambda_{\text{Н}}, \qquad (19)$$

где $\lambda_{\text{Н}} = 1$ – начальное значение показателя роста, соответствующее уровню базового года.

Логично записать следующее:

$$N = \lambda - \lambda_{\text{Н}} = (M_1 - M_{1\text{Н}}) +$$
$$+ (M_2 - M_{2\text{Н}}) = M_1 + M_2 - 1, \qquad (20)$$

где $M_1 = \lambda m^*$, $M_2 = \lambda m$.

Таким образом, $M_{1\text{Н}} + M_{2\text{Н}} = 1$. Необходимо поделить эту единицу между двумя компонентами начального состояния – инерционным и реконструктивным. Будем определять $M_{1\text{Н}}$ как $\lambda_{\text{Н}} m_{\text{Н}}^*$, а $M_{2\text{Н}}$ – как $\lambda_{\text{Н}} m_{\text{Н}}$ (индекс «Н» говорит о том, что помеченные им величины являются начальными (базовыми)).

Уже известно, что $\lambda_{\text{Н}} = A : A = 1$, $M_{\text{Н}} = 0$ (так как это сдвиг базовой структуры относительно себя самой). Таким образом, $M_{2\text{Н}} = 1 \cdot 0 = 0$. Соответственно:

$$M_{1\text{Н}} = \lambda_{\text{Н}} m_{\text{Н}}^* = \lambda_{\text{Н}}(1 - m_{\text{Н}}) = 1(1 - 0) = 1. \qquad (21)$$

Но тогда

$$n_1 = M_1 - M_{1\text{н}} = \lambda m^* - 1 = \lambda(1 - m) - 1;$$
$$n_2 = M_2 - M_{2H} = M_2 - 0 = M_2 = 1m. \qquad (22)$$

В целом получаем основной результат:

$$N = n_1 + n_2, \qquad (23)$$

где $n_1 = \lambda(1 - m) - 1$ – это инерционный компонент нормы роста; $n_2 = \lambda m$ – реконструктивная составляющая нормы роста.

Для исследования структурных циклов, анализ которых важен при мониторинге экономического развития региона, применяется понятие структурной эластичности выпуска:

$$E = n_1 : n_2, \qquad (24)$$

где n_1 – консервативный (инерционный) компонент; n_2 – реконструктивный компонент нормы роста.

Фазам структурного цикла соответствуют характерные значения параметра структурной эластичности.

1. Структурная эластичность положительна: рост на основе традиционной структуры выпуска дополняется ростом на основе структурных изменений, т. е. $n_1 > 0$ и $n_2 > 0$. Тогда $E > 0$. Соответствующая фаза структурного цикла называется *фазой дополняющего развития*.

2. Если рост на традиционной основе уменьшается ($n_1 < 0$), но сохраняется рост на базе структурных изменений ($n_2 > 0$), причем это происходит так, что он остается положительным и имеет место рост выпуска, то $E > -1$. Такая ситуация характеризует *фазу компенсирующего замещения*. То есть рост за счет компонента n_2 компенсирует и замещает спад на основе компонента n_1, что обусловлено целевым назначением структурных сдвигов. Рост на их основе должен расширять производственные возможности. Однако часто спад традиционных производственных возможностей приобретает катастрофическую форму, в этом случае экономическая система переходит в фазу 3.

3. При кардинальном преобразовании традиционной структуры выпуска спад перестает компенсироваться одновременным ростом на базе реконструктивной составляющей, что связано с запаздыванием эффекта структурных преобразований. Получается $N > 0$ и $E < -1$, т. е. возникает *ситуация некомпенсирующего замещения*.

4. На четвертой фазе упомянутые факторы проявляются наиболее отчетливо, т. е. возникает общий (глубокий) *спад производства*: $E << -1$ и $N << 0$. Затем спад уменьшается, и значение начинает приобретать компенсирующее влияние фактора структурных преобразований. Экономическая система переходит в фазу 3, а затем в фазу 2. Устанавливается новая структура выпуска, подкрепляемая дополнительными изменениями, и система возвращается в фазу 1, но уже с реконструктивным составом выпуска.

На практике возможны отклонения от приведенной теоретической схемы (сбои и повторы фаз). Считается, что постепенный переход структурного цикла с закономерной заменой его фаз характерен для регулируемой (плановой) экономической системы. Для экономики, переживающей период острой неустойчивости, характерна структурно-динамическая нестабильность. Так, в случае неустойчивого соотношения между эффектом замещения и эффектом дополнения локальный спад следует за локальным подъемом. Знаки величины E меняются в непредсказуемой последовательности, что, в сущности, и есть структурно-динамическая нестабильность.

На основании методики разложения нормы роста (спада) выпуска выделяют классификацию вариантов развития экономической системы:

1. Инновационный экономический рост, возникающий в том случае, когда норма роста является значительной, а составляющие инерционного (n_1) роста и роста, связанного со структурными изменениями (n_2), сопоставимы по масштабу.

2. Экстенсивный экономический рост, который характеризуется соотношением $n_1 >> n_2$. Инерционная составляющая роста здесь превалирует, что говорит о невыраженных усилиях по согласованию производства и потребностей и слабом использовании инноваций, поэтому норма роста N может быть относительно большой. Это происходит, когда по отношению к экономической системе она защищена от внешней конкуренции, становится монополистом на внутреннем рынке, и в результате такое развитие вырождается в застой.

3. Стагнация (застой), предполагающая экстенсивное ведение хозяйства и возникающая из-за отсутствия инноваций, ресурсного дефицита, а также устаревших способов организации хозяйственного процесса и технологии и т. п. Этот вариант характеризуется следующими условиями: $N \approx 0$; $n_1 \approx 0$; $n_2 \approx 0$. Преодоление фазы стагнирующего состояния часто является серьезной экономической проблемой.

4. Структурный кризис, который состоит в условии $n_1 << 0$ и $N \approx 0$. К элементам структурного кризиса относят сворачивание традиционных производственных возможностей, сложность изменения технологии, ассортимента, возрастание уровня структурной безработицы. Однако он создает условия для постепенного увеличения замещающего воздействия со стороны компонента нормы роста, обусловленного структурными изменениями. В результате, такое замещение начинает полностью компенсировать спад традиционных производственных возможностей, затем начинается рост, и параметр N приобретает значения $N >> 0$.

Таким образом, волнообразное развитие экономики – это непрерывные колебания деловой активности, чередование экстенсивного и интенсивного типов экономического роста. Основным фактором, влияющим на длительность и глубину циклических колебаний, является движение инвестиций. Кризис образует исходную базу для новых массовых капиталовложений потому, что через обесценивание основного капитала создаются условия для обновления производства, причем на новой технической базе, позволяющей снизить издержки, восстановить докризисный, а затем и более высокий уровень прибыли. Поэтому при стратегически ориентированной инвестиционной политике можно влиять на циклическое развитие экономической системы и выводить ее из точек критического состояния в фазу роста на основе интенсивных факторов.

Библиографические ссылки

1. Кузнецова О. В. Экономическое развитие регионов: теоретические и практические аспекты государственного регулирования. М. : Изд-во ЛКИ, 2007.

2. Самофалова Е. В., Кузьбожев Э. Н., Вертакова Ю. В. Государственное регулирование национальной экономики / под ред. Э. Н. Кузьбожева. М. : КноРус, 2008.

3. Дедов Л. А. Развитие хозяйственных систем: методы оценки и анализа. Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 1998.

O. V. Patsuk

METHODOLOGICAL ASPECTS OF ANALYSIS AND FORECAST OF ECONOMIC SYSTEMS' DEVELOPMENT

Assessment methodology of economic effectiveness of different territories is uniform and does not depend on size and structure of a territory. However, certain methodological assessment techniques could be different, according to the characteristics mentioned. The type of the complex and special features of the problem being solved are of particular importance when choosing a research method.

Keywords: social and economic development of the territories, forecast of the economic systems' development.

© Пацук О. В., 2010

УДК 338.24 (083.78)

О. В. Поротова, И. А. Янкина, Е. В. Смирнова

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА СТОИМОСТИ БИЗНЕСА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ТАКТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Рассмотрено управление стоимостью предприятия посредством метода экспресс-оценки стоимости бизнеса. Предлагается уточнение формулы расчета стоимости бизнеса методом чистых активов. Вводится система квадрантов, позволяющая оперативно и обоснованно принимать управленческие решения для повышения стоимости бизнеса.

Ключевые слова: стоимость бизнеса, экспресс-метод, метод чистых активов, управление стоимостью бизнеса, система квадрантов.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью использования новых стратегий и методов управления компаниями для повышения эффективности финансовой деятельности предприятий, устойчивой работы в повседневных и кризисных условиях рыночной среды. В основе концепции управления стоимостью бизнеса лежит понимание того, что стратегия повышения стоимости бизнеса перспективна как для собственников, так и для инвесторов, потребителей и социума. При таком подходе стоимость бизнеса является обобщающим результатом деятельности предприятия. Эффективность управления предприятием определяется не только его ликвидностью или рентабельностью, не только величиной прибыли, но и увеличением цены бизнеса, которая является объектом преимущественно финансового стратегического управления.

Целью работы является разработка практических рекомендаций по оценке стоимости бизнеса с целью повышения эффективности управления предприятиями, а также предложение использования экспресс-метода оценки стоимости бизнеса как инструмента для принятия тактических и стратегических решений управленцами предприятий.

Задачи, решаемые в ходе исследования, рассматривались применительно к предприятиям среднего бизнеса, на балансе которых не числятся нематериальные активы.

Методический аппарат оценки стоимости бизнеса, существующий на данный момент, не позволяет достаточно быстро определить стоимость бизнеса, а также обеспечить топ-менеджмент необходимой информацией, касающейся тенденции изменения стоимости компании в процессе преобразований, вызванных внешними или внутренними факторами. Быстрота, доступность, информативность в настоящее время приобретают все большее значение в процессе управления стоимостью бизнеса.

В условиях постоянно меняющейся внешней и внутренней среды предприятий оперативное определение стоимости бизнеса приобретает характер объективного, целенаправленного непрерывного процесса. В то же время остается актуальной и недостаточно разработанной проблема управления стоимостью компании на этапе стабильного развития, а также в кризисных условиях. Также стоит обратить внимание на механизм согласования интересов бизнеса и социума, влияние социальных факторов на динамику стоимости предприятий.

Управление стоимостью компании – это современная стратегия менеджмента, ориентированная на повышение инвестиционной привлекательности, конкурентных преимуществ и устойчивой работы в рыночной среде в расчете на длительную перспективу. Она строится на системном подходе к использованию многообразных факторов, формирующих стоимость, на учете противоречивых интересов различных групп субъектов, так или иначе связанных с компанией. Повышение рыночной стоимости компании является стратегической целью управления [1].

Для достижения эффективности управления на основе определения стоимости бизнеса необходимо проанализировать существующие методы определения стоимости. Предлагаемые зарубежными исследователями методики для управленцев отечественных компаний сейчас не могут найти должного применения на практике, что связано с неразвитостью рынка ценных бумаг и информационной базы [2]. На данный момент адаптированных методик стоимостной оценки российского бизнеса, основанных на принципе повышения стоимости бизнеса, не так много, и у каждой из них есть свои нюансы, требующие огромного объема информации. В оценочной практике существует три основных подхода определения стоимости бизнеса: доходный, затратный, сравнительный.

Некоторые оценщики и управленцы делают перспективный анализ прибыли на основе ретроспективы, проводят корректировки, определят экспертным путем доли «доверия» к тому или иному методу и на основе трех методов, путем весовых коэффициентов, получают так называемый интегрированный показатель стоимости бизнеса. Сразу возникает вопрос о необходимости данного значения. Ведь, если собственнику необходимо знать стоимость бизнеса для принятия управленческого решения, то методика оценки стоимости должна при расчете обладать следующими характеристиками:

– простотой расчета;
– информативным характером;
– доступностью для понимания;
– оперативностью определения;
– обоснованностью;
– наглядностью.

Даже при проведении особо тщательной и доскональной оценки всегда будет неопределенность и погрешности величины стоимости бизнеса, что связано с изменением экономики страны и стратегии компании. Степень точности оценки будет зависеть от ставки дисконтирования (модель дисконтированных денежных потоков), от стадии жизненного цикла, возраста компании. Оценка будущей

деятельности компании, основанная на предположениях о будущих доходах компании, будет носить вероятностный характер. Для проведения оценки доходным, затратным или сравнительным методом требуется построение сложных многофакторных моделей, основанных на макроэкономических прогнозах. Для расчета по данным методикам необходима доступная информация о сделках купли-продажи, инструментах фондового рынка, что в реальности не всегда возможно. Подробная процедура определения цены бизнеса занимает много времени, усилий, финансовых вложений, требует привлечения сертифицированных специалистов-оценщиков.

Руководителям компаний регулярно приходится принимать решения, которые оказывают влияние на стоимость бизнеса. Любое из действий менеджмента организации, такое как приобретение или реализация имущественного комплекса, финансовых вложений, продажа/покупка дебиторской задолженности, ценных бумаг и т. д., оказывает огромное влияние на стоимость бизнеса. Существующие методики оценки стоимости трудоемки, сложны в восприятии для непрофессионалов в оценочной деятельности, требуют значительного количества времени.

Для оперативности внедрения данных решений с точки зрения оценки стоимости бизнеса в рамках работы предлагается разработка метода экспресс-оценки стоимости предприятия. Этот метод, основанный на данных бухгалтерской отчетности, позволяет учесть интересы всех участников бизнес-процессов. В основе данной концепции лежит понимание того, что для акционеров важно обеспечить рост рыночной цены объектов собственности, скорректировать свою политику управления, для инвесторов – определить надежность и финансовую перспективность вложений, для оценщиков – найти коэффициент (показатель, мультипликатор) по отрасли с целью использования при расчете в методе аналогов, для социума – определить уровень развития экономики, принять решение для возможного участия в народном IPO.

На наш взгляд, следует обратить особое внимание на метод чистых активов. Уточним данный метод путем введения в расчет коэффициентов соотношения дебиторской и кредиторской задолженностей (возможность покрытия кредиторской задолженности за счет дебиторов) и коэффициентов рентабельности деятельности предприятия.

Метод чистых активов – один из методов затратного подхода к оценке бизнеса, суть которого заключается в определении стоимости активов с дальнейшим вычитанием из суммы активов всех текущих обязательств компании.

Стоимость бизнеса по данному методу равна стоимости чистых активов, расчет которых производится по формуле

$$ЧА = ВА + ОбА – ЦФиП – ДиКП, \quad (1)$$

где ЧА – чистые активы предприятия; ВА – внеоборотные активы предприятия; ОбА – оборотные активы предприятия; ЦФиП – целевые финансирования и поступления; ДиКП – долгосрочные и краткосрочные пассивы [2].

В отличие от существующей формы расчета предлагается уточнение формулы чистых активов для определения стоимости бизнеса:

$$Ц = [А – ДК – КиЗ – КЗ / (ДЗ / КЗ)] (1 + R_{пр}) (1 + R_{ск}), \quad (2)$$

где Ц – стоимость бизнеса; А – активы предприятия (стр. 300); ДК – долгосрочные обязательства предприятия (стр. 590); КиЗ – кредиты и займы краткосрочные (стр. 610); КЗ – краткосрочная задолженность (стр. 620); ДЗ/КЗ – коэффициент соотношения дебиторской задолженности (стр. 240) и кредиторской задолженности (стр. 620); $R_{пр}$ – рентабельность предприятия, рассчитанная по прибыли; $R_{ск}$ – рентабельность собственного капитала, определенная по прибыли от реализации.

В уточненной формуле предлагается ввести коэффициент соотношения ДЗ/КЗ, который играет существенную роль в процессе функционирования предприятия.

Коэффициент соотношения дебиторской и кредиторской задолженности, предложенный для проведения расчетов стоимости бизнеса, показывает, насколько предприятие способно погасить свою краткосрочную задолженность посредством использования дебиторской задолженности, что играет существенную роль в критических условиях деятельности предприятия. Он увеличит стоимость бизнеса, если будет больше или равен 0,5, и уменьшит искомый показатель в противном случае.

Кроме того, это не единственный коэффициент, предложенный для дополнения формулы (1). Следует также обратить внимание на коэффициенты рентабельности.

Применение коэффициента рентабельности деятельности предприятия играет немаловажную роль при расчете стоимости бизнеса экспресс-методом. Рентабельность деятельности показывает, насколько деятельность предприятия носит положительный или отрицательный финансовый результат, что также должно корректировать величину стоимости бизнеса, рассчитанную предлагаемым экспресс-методом. Коэффициенты рентабельности характеризуют позиции бизнеса в отраслевых и территориальных границах.

Основная идея данного расчета стоимости бизнеса заключается в следующем: стоимость бизнеса определяется как произведение разности стоимости активов за минусом обязательств компании и коэффициентов рентабельности предприятия по прибыли от реализации и рентабельности собственного капитала. Краткосрочная задолженность в данной формуле делится на коэффициент соотношения дебиторской и кредиторской задолженности, данное действие позволяет определить, насколько кредиторская задолженность может быть погашена за счет дебиторской. Таким образом, если в коэффициенте соотношения ДЗ/КЗ дебиторская задолженность больше кредиторской, то значение стоимости бизнеса будет больше, в противном случае – величина стоимости будет меньше.

Рентабельность собственного капитала, рентабельность деятельности предприятия, рассчитанная по прибыли от реализации, также оказывают влияние на значение стоимости бизнеса. Данные коэффициенты позволяют скорректировать исследуемую величину, основываясь не только на стоимости активов предприятия, но и на результатах финансовой деятельности.

Таким образом, стоимость бизнеса при расчете по формуле (2) будет отличаться от величины стоимости, рассчитанной по методу чистых активов в большую сторону, если деятельность предприятия будет рентабельна, а дебиторская задолженность будет покрывать текущую кредиторскую задолженность.

Для определения политики по управлению предприятиями на основе определения стоимости бизнеса предлагается разработать «сценарную модель деятельности предприятия», благодаря которой можно определить, как то или иное решение повлияет на стоимостную величину компании.

Модель строится на основе двух показателей: коэффициента ликвидность и коэффициента соотношения цены бизнеса к чистым активам предприятия.

Показатель соотношения стоимости бизнеса к чистым активам (Ц/ЧА) позволяет проследить тенденцию развития предприятия, показывает, насколько эффективно управление предприятием, отражает финансовую привлекательность деятельности компании. Согласно предлагаемому расчету по формуле (2) при грамотном управлении и реализации финансовых и стратегических действий стоимость бизнеса должна превышать величину чистых активов. Таким образом, коэффициент Ц/ЧА должен быть больше единицы (граничное значение единицы).

Для оценки платежеспособности предприятия применяют коэффициент текущей ликвидности. Коэффициент текущей ликвидности определяется как отношение фактической стоимости находящихся в наличии оборотных активов, в том числе запасов, готовой продукции, денежных средств, дебиторских задолженностей, незавершенного производства и т. д., к краткосрочным пассивам (обязательствам).

Коэффициент текущей ликвидности применяется для оценки способности предприятия выполнять свои краткосрочные обязательства. Коэффициенты ликвидности характеризуют платежеспособность предприятия не только на данный момент, но и в случае чрезвычайных обстоятельств.

Нормативное значение для коэффициента текущей ликвидности – от 1 до 2, значение меньше единицы говорит о возможной утрате платежеспособности, а значение больше четырех – о недостаточной активности использования заемных средств и, как следствие, меньшем значении рентабельности собственного капитала. Следует отметить, что нормативный коэффициент ликвидности будет зависеть от отрасли, в которой предприятие осуществляет свою деятельность [3].

На рисунке представлена система квадрантов, на которой по оси *Y* отображается коэффициент соотношения цены бизнеса к чистым активам предприятия, по оси *X* – коэффициент текущей ликвидности. В данной системе введены граничные значения заданных показателей: для коэффициента Ц/ЧА граничное значение 1 (оптимальное значение больше 1), для коэффициента текущей ликвидности от 1 до 2.

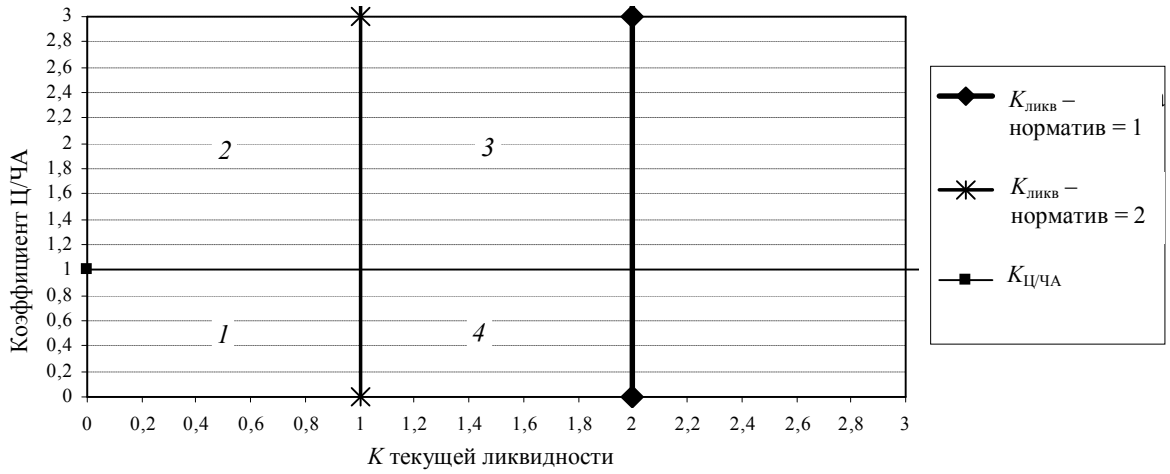
Граничные значения показателей разделили область на четыре квадранта.

В первом квадранте коэффициенты ликвидности и соотношение стоимости бизнеса к чистым активам предприятия ниже нормативного значения ($K_{Ц/ЧА} < 1$, $K_{ликв} < 1$). Назовем этот квадрант nobody nothing – «ни себе, ни людям». Такое состояние финансовых дел на предприятии говорит о невозможности для предприятия покрыть свои обязательства, о нестабильности финансовой ситуации на предприятии, отсутствии стратегии стоимостного мышления у руководства компании.

Во втором квадранте коэффициент ликвидности ниже нормативных значений, соотношение Ц/ЧА больше единицы ($K_{Ц/ЧА} \geq 1$, $K_{ликв} < 1$), назовем его everybody may be – «повышение стоимости любой ценой». Несоответствие оптимальному значению коэффициента ликвидности говорит о временной утрате платежеспособности предприятия, но деятельность компании рентабельна. Менеджмент организации повышает прибыль, при этом не обращая внимание на превышение темпа роста краткосрочных пассивов над оборотными активами.

В третьем квадранте все показатели находятся на оптимальном благоприятном уровне. Нахождение предприятия в данном квадранте говорит о грамотной политике управления компанией с точки зрения стоимостного мышления. Расчетные рамки третьего квадранта – $K_{Ц/ЧА} \geq 1$, $1 \leq K_{ликв} \leq 2$, назовем его GOOD TOP – «и себе, и людям». «Расчетное расположение» предприятия в данных граничных значениях выгодно и собственникам, и инвесторам, и государственным фискальным структурам, и социуму, оно положительно характеризует предприятие в кредитных учреждениях.

В четвертом квадранте коэффициент ликвидности удовлетворяет оптимальному значению, Ц/ЧА ниже единицы ($K_{Ц/ЧА} < 1$, $1 \leq K_{ликв} \leq 2$). Назовем его No Value – «нет



Система квадрантов – зависимость коэффициента стоимости бизнеса к чистым активам предприятия и коэффициента текущей ликвидности

стоимостному решению». Политика руководства в данном случае позволяет сохранять текущую платежеспособность предприятия, но не учитывает повышение стоимости бизнеса.

Таким образом, используя предлагаемую систему квадрантов, руководители могут оперативно принимать решения, которые позволят эффективно управлять предприятиями на основе определения стоимости бизнеса. Предлагаемый экспресс-метод позволит спрогнозировать динамику изменения показателя цены бизнеса, при этом обращая внимание на уровень платежеспособности предприятия. В условиях кризиса предложенная зависимость двух коэффициентов – соотношение стоимости бизнеса и чистых активов и коэффициент ликвидности – дает возможность объективно оценить процесс преобразованной системы функционирования предприятия, принять решение мобилизации собственных ресурсов для восстановления платежеспособности.

Стратегия управления предприятием, основанная на подходе повышения стоимости бизнеса, – одна из самых эффективных, так как позволяет следить за динамикой данного показателя, который выступает индикатором финансово-хозяйственной деятельности предприятия [4].

Управленцы высшего уровня приходят к выводу, что основными характеристиками успешной и перспективной компании являются не только ее ликвидность, рентабельность, прибыль (как принято было считать ранее), но и повышение стоимости бизнеса (цены бизнеса). То есть, основной задачей грамотного управленца должно быть увеличение цены бизнеса, которая будет являться предметом мониторинга, стратегического управления и инвестиционного интереса государства и населения [5].

Таким образом, применяя экспресс-метод оценки бизнеса, менеджмент предприятий может быстро и без существенных затрат определить «граничный» минимум размера рыночной стоимости бизнеса, а также выделить факторы, которые оказывают на нее влияние.

Стоимость бизнеса, полученная экспресс-методом, может служить минимальной ценой бизнеса и использоваться профессиональными лицензированными оценщиками для более досконального и подробного расчета цены бизнеса.

Управленческому составу, руководителям финансовых служб рекомендуется обращать внимание на стоимость бизнеса как на управляемую величину, оказывающую большое влияние на все результаты деятельности компании, такие как повышение инвестиционной привлекательности, управление финансовыми рисками, формирование источников финансирования, социальная составляющая детальности организации.

В результате проделанной работы были получены следующие результаты:

1. Предложено использование экспресс-оценки стоимости предприятия как способа повышения эффективности управления предприятиями.

2. Доказано, что управление стоимостью – это процесс, учитывающий интересы различных сторон, включая собственников, инвесторов, потребителей товаров, социума, правительства территориальных единиц России.

3. Модифицирована формула расчета стоимости бизнеса методом чистых активов, внесены коэффициенты, которые оказывают существенное влияние на величину искомого показателя.

4. Предложена система квадрантов, которая позволяет выявить особенности управления стоимостью компании в различных ситуациях.

5. Сделан вывод, что экспресс-метод определения стоимости бизнеса должен отвечать принципу системности и обеспечивать мобилизацию всех решений для достижения стратегических и тактических целей.

6. Отмечено, что в условиях кризисных ситуаций экспресс-метод оценки стоимости бизнеса и принятые на основе его решения должны быть ориентированы не на рост показателя стоимости, а на его сохранение.

Практическая значимость работы состоит в том, что рекомендации по использованию экспресс-метода расчета стоимости бизнеса дают возможность оперативно информировать собственников и менеджеров предприятия о динамике стоимости бизнеса, что позволяет повысить эффективность управления предприятиями.

Библиографические ссылки

1. Валдайцев С. В. Оценка бизнеса и управление стоимостью предприятия : учеб. пособие для вузов. М. : ЮНИТИ-Дана, 2007.

2. Грязнова А. Г. Оценка бизнеса. М. : Финансы и статистика, 2006.

3. Дамодаран А. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов. М. : Альпина Бизнес Букс, 2008.

4. Ефимова О. В. Финансовый анализ. М. : Бухгалтерский учет, 2002.

5. Коупленд Т., Коллер Т., Муррин Д. Стоимость компании, оценка и управление. М. : Олимп-Бизнес, 2007.

O. V. Porotova, I. A. Yankina, E. V. Smirnova

EXPRESS-ESTIMATION OF BUSNESS VALUE FOR MAKING TACTICAL DICISIONS IN MANAGEMENT OF ENTERPRISES

This work considers enterprise total cost management by means of the method of business value express- estimation. The author offers a more accurate formula for calculating the business value by net assets. Besides, the article introduces a system of quadrants, that allows to make management decisions to increase business value efficiently.

Keywords: business value, express-method, net assets method, business total cost management, system of quadrants.

© Поротова О. В., Янкина И. А., Смирнова Е. В., 2010

УДК 658.14

Л. А. Мочалова

МОДЕЛЬ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ФИНАНСОВОЙ СТРАТЕГИИ КОРПОРАЦИИ

Представлена декомпозиционная модель разработки финансовой стратегии корпорации в условиях кризиса и выбора риск-ориентированной финансовой стратегии по критериям финансовых рисков. Дается определение понятия «риск-ориентированная финансовая стратегия».

Ключевые слова: модель, финансовая стратегия, финансовые риски, критерии.

Рыночная среда, усиливающаяся конкуренция, финансовый кризис вынуждают каждое предприятие искать новые, более эффективные подходы выбора финансовой стратегии, которые должны гарантировать финансовую устойчивость при заданном уровне риска.

Стратегии современных корпораций направлены в основном на экономический рост. В них не учитывается сценарий возможных неблагоприятных изменений внешних условий. Оптимизм, априори исключающий кризисные траектории экономического развития в условиях современного кризиса, привел многие корпорации к потере финансовой устойчивости и платежеспособности или банкротству.

По мнению автора, для успешного формирования и реализации финансовой стратегии необходим подход, обеспечивающий достижение и поддержание финансовой устойчивости корпорации на основе сбалансированности динамики объема продаж, активов и структуры источников финансирования по критерию финансовых рисков.

На современном этапе в финансовом менеджменте понятие финансовой стратегии разными авторами рассматривается в различных аспектах: как элемент стратегического или финансового менеджмента, как система действий по достижению целей либо как механизм принятия и реализации управленческих решений по финансированию и др. Анализ толкования этой дефиниции позволяет дать в обобщенном виде определение финансовой стратегии.

Финансовая стратегия – это один из важнейших видов функциональной стратегии, система действий по достижению поставленных долгосрочных целей финансовой деятельности, на основе которой прорабатывается политика привлечения и использования финансовых ресурсов корпорации, включающая механизмы формирования требуемого объема и эффективного вложения этих ресурсов в активы предприятия, учитывающие изменения внешней среды.

Формирование финансовой стратегии должно быть направлено, прежде всего, на поддержание устойчивого финансового положения организации. Поэтому предлагается выбор финансовых стратегий роста по заданным критериям финансовых рисков. Для этого введем понятие риск-ориентированной финансовой стратегии (РОФС).

Риск-ориентированная финансовая стратегия – это система управленческих решений по достижению поставленных перспективных целей формирования, распределения и использования финансовых ресурсов, обеспечивающая финансовую устойчивость организации посредством балансирования динамики объема продаж, активов и структуры источников финансирования по критериям финансовых рисков, с учетом изменения внешней среды.

Для разработки РОФС целесообразно использовать в качестве критериев совокупность показателей оценки финансовых рисков: эффективность финансовой деятельности, ликвидность и платежеспособность, финансовая устойчивости, дивидендная политика. Такой подход позволит менеджерам принимать управленческие решения по достижению и поддержанию устойчивого финансового положения организации в ходе реализации общекорпоративной стратегии.

Главная идея, лежащая в основе предлагаемого методического подхода, заключается в выборе финансовой стратегии, направленной на достижение и поддержание финансовой устойчивости корпорации посредством выявления максимального уровня прироста объема продаж, ограниченного темпом прироста прибыли в заданном диапазоне финансовых рисков.

Формирование и реализация финансовой стратегии включает 7 последовательных этапов (рис. 1).

Основным элементом методического подхода является методика формирования альтернатив финансовой стратегии и методика выбора РОФС.

Методика формирования РОФС (этап 4 методического подхода) заключается в последовательном прохождении трех шагов (рис. 2):

Шаг 1. Определяется сбалансированное соотношение прироста объема продаж, структуры активов и капитала. Для этого используем в качестве базовой модель устойчивого роста Р. С. Хиггенса:

$$g^* = \frac{\Delta СК}{СК_{нг}} = \frac{RR \cdot ЧП}{СК_{нг}}, \qquad (1)$$

где g^* – темпы прироста объема продаж, ограниченные ростом собственного капитала (прибыли), %; $СК_{нг}$ – собственный капитал на начало отчетного года, ден. ед.; ДСК – изменение собственного капитала за год, ден. ед.; RR – коэффициент реинвестирования (капитализации); ЧП – чистая прибыль за отчетный год, ден. ед.

Для разработки риск-ориентированной финансовой стратегии в условиях кризиса использование именно модели Р. С. Хиггенса позволяет определить максимальный прирост объема продаж без угрозы нарушения финансовой устойчивости организации.

Разработка риск-ориентированной финансовой стратегии включает следующие действия:

1) определяется фактический темп прироста объема продаж на конец базового периода, $g^{факт}$;

2) определяется темп прироста объема продаж, ограниченный темпом прироста собственного капитала на конец базового периода, g^*;

3) проводится идентификация фактического темпа прироста и темпа прироста объема продаж, ограниченного приростом собственного капитала на сбалансированность;

4) принимается управленческое решение по сбалансированности темпов фактического прироста и прироста ограниченного ростом собственного капитала, на основе следующих критериев

– если $g^{факт} > g^*$, то организация испытывает недостаток денежных средств, и необходимо принимать меры по достижению уровня сбалансированного роста;

– если $g^{факт} < g^*$, то у организации наблюдается избыток денежных средств, и необходимо решать вопрос, что делать с прибылью, которая превышает потребности организации.

Шаг 2. Для расчета альтернатив риск-ориентированной финансовой стратегии предлагается декомпозиционная модель, включающая сочетание элементов моделей Р. С. Хиггенса, Дюпона и критериев оценки финансового риска: эффективности финансовой деятельности, риска ликвидности, финансовой устойчивости, риска дивидендной политики (рис. 3).

Декомпозиционная модель отражает возможность разработки финансовой стратегии в условиях финансового кризиса, когда во главу угла ставится не столько рост объемов продаж, сколько сохранение и поддержание финансовой устойчивости. К особенностям предлагаемой декомпозиционной модели относятся следующие:

во-первых, важным элементом модели (2) является фактор распределения прибыли (8), устанавливающий компромисс между ростом объемов продаж и ростом дивидендных выплат, что в целом влияет на стоимость компании;

во-вторых, факторная модель (3) позволяет определить взаимосвязь трех основных показателей, от балансирования которых зависит устойчивость организации: чистой рентабельности продаж (5), оборачиваемости активов (6) и структуры источников финансирования (7);

в-третьих, оценка риска (9)–(13) позволяет предотвратить угрозу потери финансовых ресурсов и финансовой устойчивости.

Предлагаемая модель включает семь переменных: темпы сбалансированного прироста объема продаж, рентабельность собственного капитала, коэффициент капитализации прибыли, рентабельность активов, чистую рентабельность продаж, оборачиваемость активов, показатель соотношения заемного и собственного капитала. Это позволяет установить зависимость между перечисленным множеством переменных $\{x_i\}$ и темпом прироста объема продаж g.

На основе декомпозиционной модели строится имитационная модель баланса следующих показателей: тем-

Рис. 1. Блок-схема методического подхода к разработке финансовой стратегии

пов сбалансированного прироста объема продаж, коэффициента капитализации прибыли, чистой рентабельности продаж, оборачиваемости активов, показателя соотношения заемного и собственного капитала. В результате выявляются эффективные альтернативы по критерию финансовых рисков.

Модель работает следующим образом:

– фиксируются фактические значения трех из пяти перечисленных показателей;

– выбирается целевой показатель (независимая переменная) (либо g^*, либо x_i);

– задается сетка значений целевого показателя с определенным шагом;

– рассчитывается значение результирующего показателя (зависимой переменной):

$x_1 \cap x_2 \cap ... \cap x_n = f(g^*)$ либо $g^* = f(x_1, x_2, ..., x_n)$;

– устанавливается порог (коридор) значений показателей финансовых рисков.

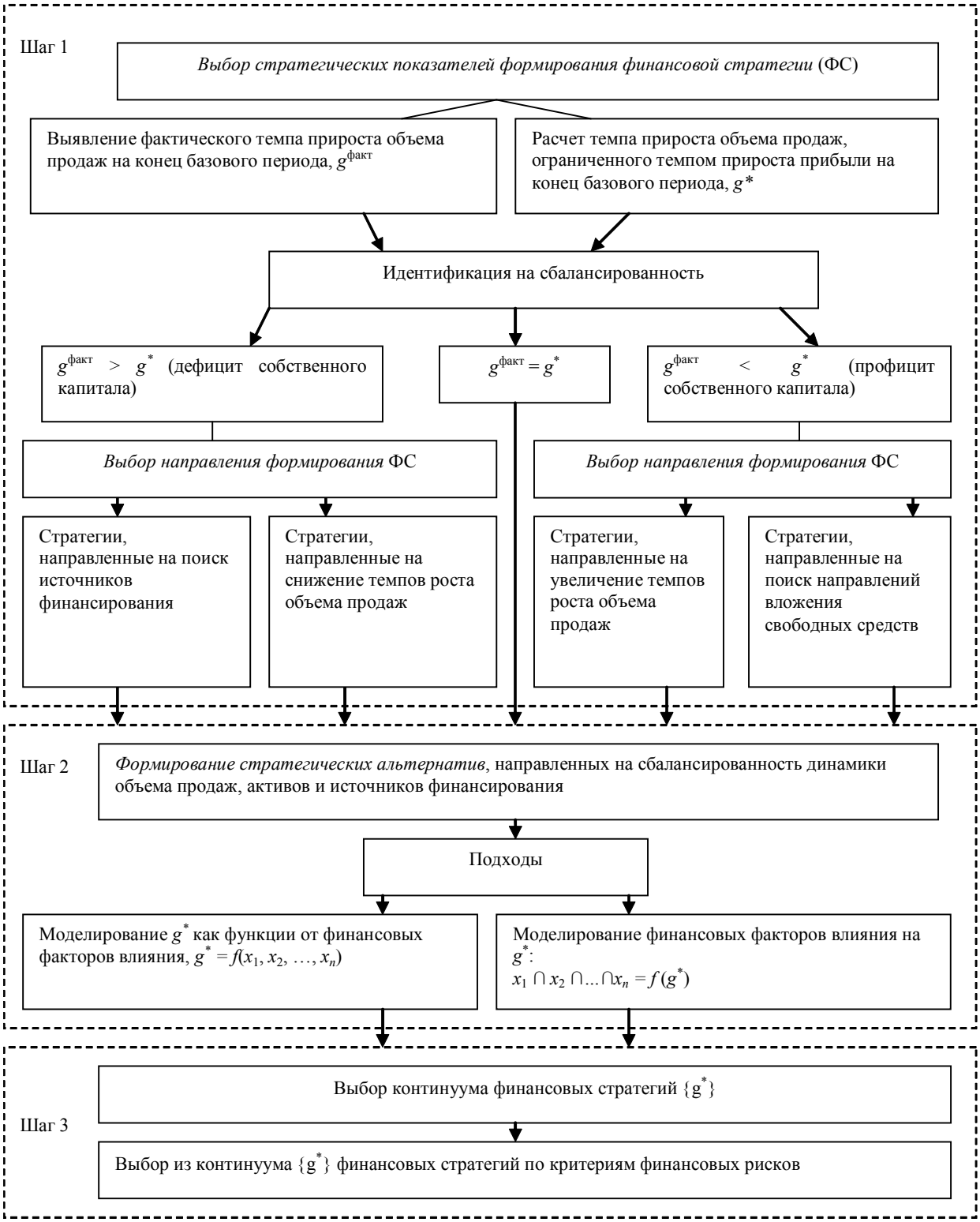


Рис. 2. Схема методики формирования альтернатив риск-ориентированной финансовой стратегии

Шаг 3. Из множества альтернатив проводится выбор РОФС по следующим критериям: темп прироста объема продаж, ограниченный темпом прироста прибыли и приемлемый уровень финансовых рисков. Для оценки приемлемости рисков задаются пороговые значения показателей эффективности и границы изменения этих показателей.

Выбор направления финансовой стратегии развития предлагается осуществлять на основе матрицы финансовых стратегий (рис. 4).

В матрице выделено четыре типа возможных финансовых стратегий, определяемых двумя факторами: способностью бизнеса финансировать свой рост продаж и отношением к риску.

Горизонтальная ось матрицы отражает отношение к риску (от избежания риска до ориентации на риск), вертикальная ось – способность бизнеса финансировать свой рост продаж (от дефицита денежных средств для финансирования до их избытка).

Стратегии секторов *A* и *B* характерны для медленно развивающихся организаций, продажи которых растут медленнее, чем способность бизнеса финансировать этот рост, тем самым генерируется излишек денежных средств. Такая ситуация позволяет поднять планку допустимого уровня риска.

Финансовые стратегии сектора *A*, направленные на предупреждение, локализацию и избежание риска, выбирают организации, занимающие доминирующие положение на рынке, имеющие достаточно стабильную рентабельность, располагающие передовой технологией и квалифицированным персоналом.

Финансовые стратегии сектора *B*, ориентированые на риск, присущий тем предприятиям, которые выбрали путь реорганизации и реструктуризации, технического перевооружения и реконструкции производственной и технологической базы, организационно-управленческих инноваций.

Стратегии секторов *C* и *D* характерны для организаций, испытывающих недостаток денежных средств для финансирования быстрого прироста объема продаж. Высокие темпы роста объема продаж требуют дополнительных инвестиций, которых чаще всего не хватает, в связи с чем руководство вынуждено брать кредиты, а при отсутствии специального механизма управления и контроля за их использованием высокие темпы роста неизбежно приводят к банкротству.

Стратегии сектора *C* связаны с реализацией программ финансового оздоровления и восстановления платежеспособности и направлены на достижение оптимальных критериев финансовых рисков.

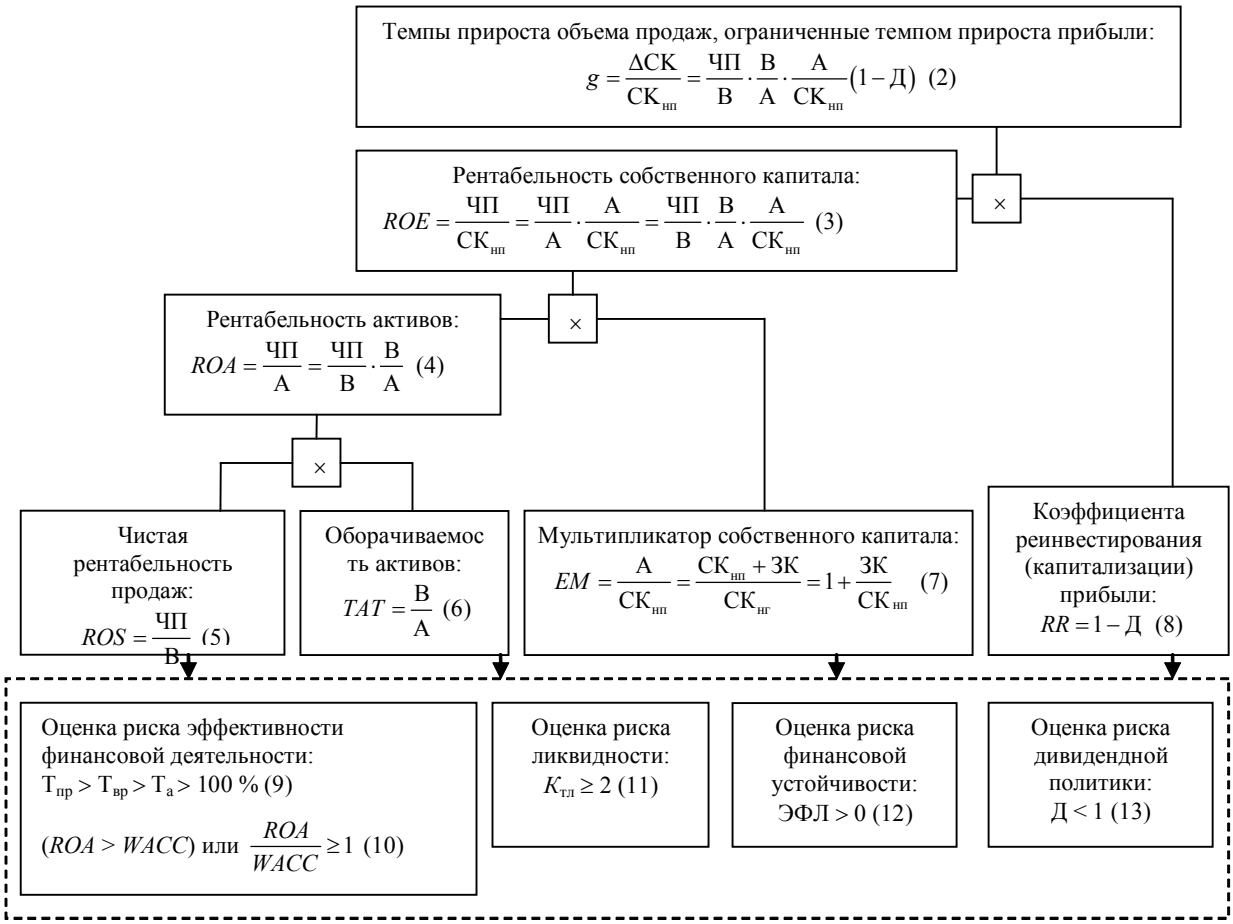


Рис. 3. Декомпозиционная модель риск-ориентированной финансовой стратегии: ЧП – чистая прибыль, ден. ед.; *WACC* – средневзвешенная стоимость капитала, %; $СК_{нп}$ – собственный капитал на начало периода, ден. ед.; $К_{тл}$ – коэффициент текущей ликвидности; ЗК – общая сумма заемного капитала, ден. ед.; ЭФЛ – эффект финансового левериджа, %; А – общая сумма активов, ден. ед.; Д – коэффициент выплаты дивидендов; В – общая сумма выручки, ден. ед.; $Т_a$ – темп роста активов, %; $Т_{пр}$ – темп роста прибыли до налогообложения, %; $Т_{вр}$ – темп роста выручки от продаж, %

Стратегии сектора *D* ориентированы на риск. Стратегии сектора *D*, находящиеся ближе к центру матрицы, ориентированы на риск, дающий «возможность прорыва». Для этого требуется изменение основных экономических характеристик и потенциала бизнеса, требуются крупные капиталовложения. Риск здесь очень велик, но доход должен быть очень значительным (иначе нет смысла рисковать). Такая ориентированная на риск стратегия может на определенной стадии стать заменой стратегиям сектора *C* и активизировать новый виток жизненного цикла организации. Стратегии сектора *D*, находящиеся дальше от центра матрицы, действуют по принципу «или пан, или пропал». Сегодня российская практика показывает, что участие в рисковых проектах при сложном финансовом положении, когда под угрозу ставится все имущественное состояние, становится не единичным явлением в производственном бизнесе. В результате, организация доводится до банкротства.

Вектор совершенствования финансовых стратегий направлен к центру матрицы. Если обозначить через *E* множество РОФС, то задача состоит в выборе стратегий, находящихся в пространстве *E*.

Таким образом, реализация декомпозиционной и имитационной модели РОСФ по изложенной методике позволит корпорации максимизировать объем продаж при заданных значениях финансовых рисков.

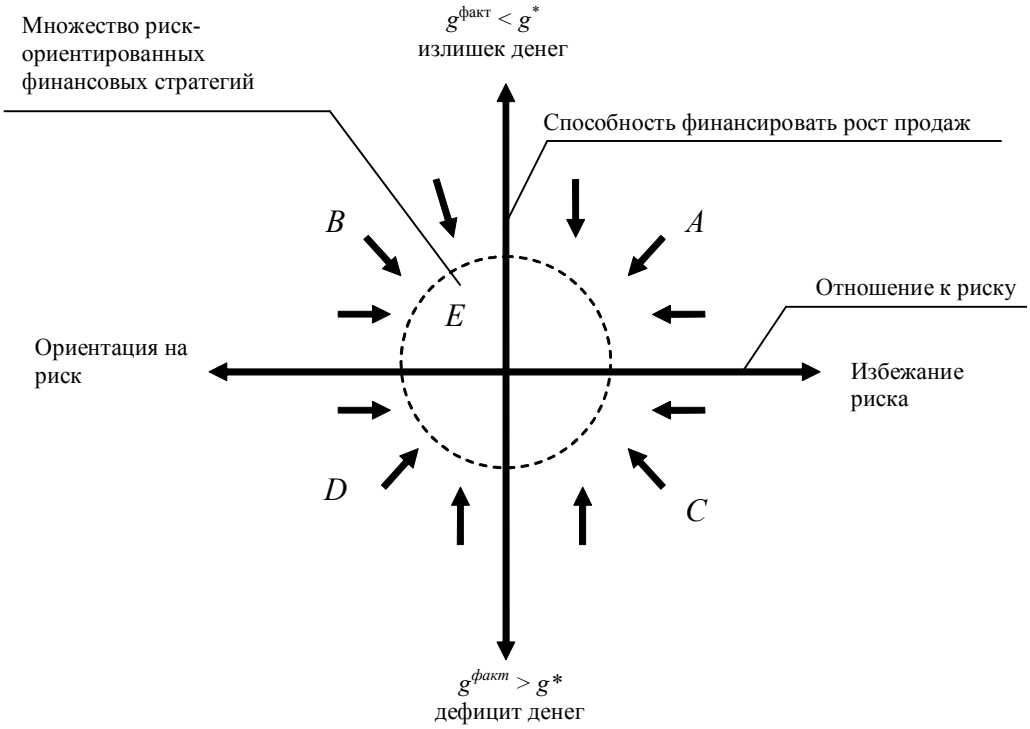


Рис. 4. Матрица выбора риск-ориентированной финансовой стратегии:
→ – направление оптимизации финансовой стратегии

L. A. Mochalova

THE MODEL OF RISK-ORIENTED FINANCIAL STRATEGY OF CORPORATION UNDER THE CONDITIONS OF CRISIS

A decompositional model for development of financial strategies of corporation and selection of risk-oriented strategy according to the criteria of financial risks is presented in the article. The concept of the definition of risk-oriented financial strategy is given.

Keywords: model, financial strategy, financial risks, criteria.

© Мочалова Л. А., 2010

УДК 658.89

Т. Н. Одинцова

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОЦЕССУ СОЗДАНИЯ СЕРВИСНЫХ ПРОДУКТОВ

Рассмотрен логистический подход к решению комплексной задачи – созданию новых сервисных продуктов. Логистический подход основан на повышении гибкости технологий обслуживания и позволяет адаптировать их к происходящим изменениям в спросе на предоставляемые услуги. Применение данного подхода требует разработки разнообразных вариантов эффективных бизнес-процессов обслуживания, направленных на недопущение возможных «провалов» в процессе потребления сервисного продукта потребителем. Актуальность работы обусловлена возрастающим спросом общества на качественные услуги, в том числе и туристские.

Ключевые слова: логистика, сервисный продукт, туристские услуги, бизнес-процесс.

Рынки XXI в. характеризуются стремительным ростом товаров и услуг, более короткими жизненными циклами продуктов и возрастающими темпами разработок новой продукции. Бизнес становится все более сложным, а условия его развития – неопределенными. Обычного быстрого реагирования в нужное время недостаточно для удовлетворения потребностей подобных рынков. Логистика охватывает все стороны жизни любого предприятия, и так и должно быть. Задача современной логистики – обеспечить такие условия, чтобы именно нужная продукция, которая удовлетворяет строго определенным потребностям конечного потребителя, доставлялась в нужное место в нужное время. Такая задача означает, что конечный потребитель ставится на первое место, поскольку нет ничего важнее для предпринимателя, в конечном счете, чем потребитель его товара или услуги. Именно концепции логистики помогают достичь конечной цели любого бизнеса – получение максимальной прибыли за счет удовлетворения потребностей клиента.

Целью статьи является рассмотрение процесса создания сервисных продуктов с точки зрения комплексного использования логистического управления.

Важность логистического управления сервисными продуктами в настоящее время непрерывно возрастает, что объясняется развитием индустрии услуг и концентрацией в ней все большего числа компаний; нацеленностью их деятельности на конечного потребителя; развитием концепции всеобщего управления качеством сервиса. В связи с вышеизложенным, организациям сферы услуг приходится периодически изменять продуктовую стратегию, создавать новые виды предложений для потребителей, а также разрабатывать технологии их планирования и создания. Этот процесс зависит от рыночных факторов, поскольку фирмы постоянно ищут новые возможности удовлетворения запросов потребителей целевых сегментов и стараются дифференцировать характеристики своих предложений в конкурентной среде.

Благодаря появлению инновационных сервисных продуктов (например, использование Интернета в процессе предоставления услуг) фирмы разрабатывают новые бизнес-процессы оказания существующих услуг, что приводит к эффективному изменению процесса предоставления услуг и позволяет создавать новые конкурентные преимущества. В качестве примера можно привести переход туристских предприятий на систему обслуживания on-line с помощью Интернета (бронирование, продажа, коммуникации). Интернет используется практически во всех основных бизнес-процессах внутри туристической компании, начиная от поиска и привлечения клиентов в качестве коммуникационного и маркетингового инструмента и заканчивая формированием турпродукта. Более радикальная форма инноваций сервисного продукта заключается в использовании технологических достижений для удовлетворения потенциальных, а также скрытых (неосознанных, невысказанных) потребностей клиентов.

Б. Чернышевым дано развернутое определение сервисного продукта как самостоятельной услуги или системы, объединяющей материальный продукт и сопутствующие услуги, обладающей определенным эффектом полезности, т. е. качеством, оцениваемым потребителем [1]. Отличительной особенностью сервисного продукта, например, туристского, в силу его неосязаемости и эфемерной природы (покупается некая мечта или ожидание клиента), является процесс предоставления обслуживания потребителя в виде накопленного определенного опыта. В процессе обслуживания явно задействованы и физические элементы – осязаемые объекты, на которые клиент получает право владения, например, обед в ресторане гостиницы. Но значительную часть цены, которую платит человек за услугу, составляет ценность сервисных элементов, включая труд, опыт и использование специализированного оборудования.

Другой важной особенностью сервисного продукта является одновременность его производства, предоставления и потребления. Следствием этой специфической черты услуг является то, что качество сервисных продуктов находится в непосредственной зависимости от характера и уровня взаимодействия персонала сервисной компании и ее клиентов, а также различных групп служащих между собой; от иных лиц, активно вовлеченных в процесс обслуживания или пассивно его наблюдающих; от способностей персонала в фиксированное время, а порой незамедлительно реагировать на запросы клиентов в процессе их обслуживания и при необходимости и вносить коррективы в этот процесс.

Сервисные продукты невозможно хранить (складировать), однако, если колебания спроса велики, а производственные мощности и технологии предоставления услуг имеют ограниченную пропускную способность, сервисные организации начинают сталкиваться с серьезными проблемами (например, ожидания в очередях).

Решить эти проблемы, которые непосредственно влияют на состояние конкурентоспособности сервисных

организаций, помогают логистические подходы, основанные на повышении гибкости технологий обслуживания и позволяющие адаптировать их к происходящим изменениям в спросе на предоставляемые услуги. Эти подходы требуют разработки разнообразных вариантов эффективных бизнес-процессов обслуживания, направленных на недопущение возможных «провалов» в процессе потребления сервисного продукта потребителем.

Бизнес-процесс – это выполнение в компании той или иной работы, например, выполнение заказа клиента (от входящего звонка до получения оплаты и подписания акта). И у каждой работы есть некоторый алгоритм, который должен быть описанным, оптимальным и действительно соблюдаться. Бизнес-процессы являются основой процессно-ориентированного управления – сложного, но эффективного подхода к управлению компанией. Это идеальный управленческий инструмент, не только снижающий непроизводительные затраты, но и повышающий качество продукции; инструмент, позволяющий иметь полную информацию о текущем процессе бизнеса и принимать своевременные и стратегически верные решения. Именно процессный подход лег в основу стандарта менеджмента качества ISO 9000:2000, в котором под процессом понимается «совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих активностей, преобразующих входы в выходы» (п. 3.4.1).

Определение границ бизнес-процессов может осуществляться на основе описанной М. Портером цепочки создания ценности, в которой выделяются основные (первичные) бизнес-процессы, обеспечивающие создание потребительской ценности продукта, и поддерживающие (вспомогательные) бизнес-процессы, обеспечивающие функционирование бизнеса и сопровождающие создание продукта на всем протяжении его жизненного цикла. При решении вопроса о границах процессов М. Портер предположил, что границы звеньев цепочки, а следовательно, и бизнес-процессов, находятся там, где производится добавление потребительской ценности продукта.

Рассматривая природу сервисных продуктов, важно понимать, каким образом их можно наглядно представить потребителям и как их создать. Уделяя внимание основным компонентам «маркетингового микса» – комплекса элементов «4Р» (продукт/услуга, продвижение (стимулирование продаж), цена, место и способ продажи), рассмотрим основные составляющие сервисного продукта, а также способы повышения его ценности и эффективности с помощью логистического подхода – определения и моделирования бизнес-процессов создания и предложения сервисного продукта.

Логистические и маркетинговые стратегии направлены на сглаживание и корректировку самих колебаний спроса, их реализация избавляет клиентов от необходимости стоять в очередях, а также позволяет фирме сбалансировать работу своих мощностей, гарантируя предоставление услуг в указанное время.

Определим место логистической составляющей в эффективной маркетинговой стратегии, которая реализуется с использованием ресурсов элементов «4Р» и ставит перед собой цель максимального удовлетворения потребности клиента. Логистическая стратегия, обеспечивая запросы потребителей, относящиеся ко времени и месту наличия продуктов, а также к сопутствующим услугам, направлена именно на максимальное удовлетворение сервисным процессом, т. е. обслуживанием клиентов.

Сервисные предложения обычно состоят из основного продукта, окруженного множеством дополнительных элементов услуги. Основной продукт отвечает за удовлетворение базовой потребности клиента, например, за перевозку пассажира в определенный пункт назначения, предоставление номера в гостинице. Дополнительные услуги помогают добиться максимальной удовлетворенности клиента и повышают эффективность использования основного продукта. К ним относятся информационные и консультационные услуги, услуги по ведению документации, по решению проблем и услуги, связанные с гостеприимством.

Например, при рассмотрении расширенного сервисного продукта с высокой степенью контакта, направленного на человека, такого как предоставление номера в гостинице со всеми дополнительными услугами, определим основные его компоненты, которые необходимо учитывать при моделировании бизнес-процессов создания и предложения.

Первый компонент – основной продукт, который должен обеспечивать базовые преимущества, связанные с решением проблемы, ради чего потребитель обращается в сервисную организацию. В нашем случае это предоставление ночлега в гостинице.

Второй компонент учитывает следующие элементы: этапы процесса предоставления оказания основной услуги, способ и график доставки основного продукта потребителю, роль и степень участия потребителя в этом процессе, длительность и уровень эффективности процесса, стиль оказания данной услуги.

Третий компонент представлен группой дополнительных услуг, которые сопровождают основной продукт, способствуя и облегчая его использование, повышая полезность и привлекательность для потребителей. Дополнительными услугами в отеле могут быть предварительный заказ номера, услуги парковки, технологии регистрации и выписки гостя, услуги носильщика, питание, использование платных телеканалов, обслуживание номера и т. п. Каждый из этих дополнительных элементов, в свою очередь, требует определения и моделирования вариативной системы бизнес-процессов, предоставления их потребителям и заранее определенного уровня обслуживания.

Четвертый структурный компонент – последовательность и длительность операций логистической цепочки предоставления услуг во времени и пространстве (парковка, регистрация, услуги носильщика, использование номера, обслуживание в номере, питание и т. д.), ведь ни основной продукт, ни дополнительные услуги не предоставляются потребителям на протяжении всего процесса обслуживания [2].

Необходимо отметить, что учет в процессе моделирования основных логистических показателей – времени и места – обязателен и важен не только для составления графика обслуживания, но и для определения потенциальных издержек потребителей, связанных с получением

данной услуги, а также для правильного распределения ресурсов компании, предлагающей услуги. Очень важно определить оптимальное время, которое потребитель должен будет затратить на получение каждого элемента услуги. Например, при размещении заказа, регистрации в гостинице, расчете и т. п. потребители, как правило, стремятся минимизировать свои временные затраты или вообще не хотят тратить свое время на виды деятельности, которые они считают непродуктивными.

На основе вышеприведенного анализа структуры сервисного продукта можно сделать вывод, что логистика, отвечая за время и место во всех указанных структурных компонентах, должна обеспечить наличие продукта или услуги тогда и там, когда и где это нужно потребителям. Несомненно, что придание продуктам полезности времени и места требует значительных усилий и затрат. Компании, основная сила которых в производимом инновационном сервисном продукте, отличаются от конкурентов высоким качеством сервиса. Имея исключительно гибкую логистическую цепочку поставок, они способны справляться с изменчивым спросом.

Создание новых сервисных продуктов – это комплексная задача, выполнение которой требует от компании тщательного анализа многих аспектов ее деятельности: процессов, персонала и операций, результатов и преимуществ. Процессы можно отобразить с помощью специальных структурных планов, в которых указываются задачи сотрудников и последовательность операций, а также прослеживается опыт потребителей на каждом этапе процесса оказания услуг.

В большинстве случаев при моделировании бизнес-процессов разработчики рассматривают каждый процесс как дискретную единицу единого товаропроводящего механизма. В результате, возникает проблема совместимости отдельно разработанных логистических бизнес-процессов и их интеграции в общую систему процессов компании.

Определение логистических бизнес-процессов компании и их связей, как между собой, так и с другими бизнес-процессами компании, – это первый и основополагающий этап в процессе формирования логистической системы сервисной компании. Выполняя данную задачу, необходимо располагать достаточно глубокими знаниями процессного и системного подходов, позволяющих изначально, на стадии разработки, рассматривать каждый бизнес-процесс как элемент единого механизма.

Моделирование бизнес-процессов создания и предложения сервисного продукта является комплексной задачей, успех выполнения которой в значительной мере зависит от использования схем, известных под названием «логистические цепи», благодаря которым все процессы отображаются с помощью потоков, последовательностей, взаимосвязей и зависимостей. Логистические цепи сервисного процесса позволяют выявить характер взаимодействия между потребителем и сотрудниками сервисной компании, а также показывают, каким образом это взаимодействие поддерживается «невидимыми» дополнительными операциями и системами. Эти схемы отображают взаимосвязь между ролями, которые играют сотрудники компании, операционными процессами, информационными технологиями и контактами с потребителями; с их помощью можно значительно повысить степень интеграции (управления маркетингом, операционного менеджмента и управления персоналом) любой сервисной фирмы.

Например, первым звеном традиционной туристской логистической цепочки является туроператор и страховая фирма (банк или иная кредитная организация), осуществляющая финансовое обеспечение ответственности туроператоров. Эта ответственность предусматривает определенные гарантии туроператора (гарантию банка под депозит определенной суммы средств или иное обеспечение, страхование профессиональной ответственности и т. п.). В случае каких-то недоразумений всю ответственность перед туристом берет на себя туроператор, а страховщик обеспечивает денежные выплаты согласно договору страхования гражданской ответственности за неисполнение или ненадлежащее исполнение обязательств по договору о реализации туристского продукта. Как правило, туроператор не продает туристский продукт непосредственно туристу, а осуществляет деятельность по его формированию (заключает договоры с гостиницами, транспортными компаниями и др.) и реализации турагентствам. Именно турагентства являются следующим звеном логистической туристской цепочки – между туроператором и клиентом.

Туристский агент – важнейшее звено в логистической цепи процесса продажи туристского продукта, который в силу своих природных свойств и характера потребителя должен быть донесен до каждого потенциального потребителя. Отношения между турагентствами и операторскими компаниями строятся на основе договоров поручения, агентских договоров по типу поручения, а также смешанных договоров, включающих в себя элементы договора поручения и возмездного оказания услуг. Подобные документы выступают основным гражданско-правовым инструментом защиты прав потребителей, т. е. туристов при осуществлении ими путешествия, что и обусловливает не-обходимость его детального изучения. Если рассматривать упрощенно, то это последовательность некоторых действий, фиксирование всех возможных вариантов развития событий. Это и есть полноценные модели логистических бизнес-процессов. Если клиент доволен предложенными условиями, то процедура заключения договора считается завершенной.

Но по наблюдениям менеджеров агентств, договор о реализации турпродукта внимательно читает в лучшем случае каждый второй клиент. Постоянные клиенты его даже не открывают и подписывают, фактически, «на автомате». Неосведомленность туристов о своих правах и обязанностях турфирмы приводит к росту числа конфликтов, затрагивающих качество и объем туруслуг (претензии касаются отелей, задержки авиарейсов и т. п.). Как утверждают юристы-практики, основная масса претензий туристов вызвана несоответствием между ожидаемым и реальным сервисным продуктом.

Согласно закону о туристской деятельности, туристы должны быть проинформированы менеджерами турфирмы о правилах въезда в страну, местных традициях, особенностях и нравах, а также об иных особенностях, кото-

рые так или иначе могут повлиять на качество отдыха. Факт предоставления необходимой информации о сервисном продукте подтверждается выдачей памятки туристу, он расписывается в договоре, подтверждая, что ознакомлен с правилами пребывания в стране. На этой стадии создания сервисного продукта клиент может выразить пожелание внести в памятку не предусмотренные, но актуальные для него позиции в отношении поведения в чужой стране. Это имеет важное значение и для туроператоров, формирующих турпродукт и реализующих стратегию интеграции клиента в процесс создания сервисных продуктов.

Некоторые турфирмы используют несовершенство законодательной базы в своих интересах, недобросовестно относясь к выполнению своих обязанностей. При этом судебная практика показывает, что нередко отвечать за ошибки приходится не настоящему виновнику – поставщику сервисного продукта, а наиболее незащищенному участнику логистического бизнес-процесса – турагентству. Разработка различных моделей логистических бизнес-процессов поможет обезопасить его участников от подобных конфликтов еще на стадии создания турпродукта. Стоит учитывать, что только специально разработанные для определенной компании договоры, а не «типовые», являются надежной защитой для клиента и турфирмы, так как они максимально используют возможности действующего законодательства.

Характерными особенностями туристского продукта на российском рынке считаются следующие его свойства: достаточно высокая стоимость (недельный экономный отдых минимально обходится клиенту в месячный заработок, не считая дополнительных расходов на месте), ограниченность использования (намеченную поездку нельзя перенести или отказаться от нее, полностью вернув себе деньги), кредитование со стороны клиента (оплата турпоездки в визовые страны происходит за несколько недель и даже месяцев). Сюда можно добавить риски, связанные с техническими и природными катастрофами, а в последние годы – и с угрозой терроризма. Поэтому не случайно динамика изменения числа туристических фирм очень подвижна, а сроки их существования невелики.

Для описания и разработки логистических бизнес-процессов создания и предложения сервисного продукта требуется определить основные виды деятельности, связанные с предоставлением услуги, длительность их выполнения и выявить взаимосвязи между ними.

При разработке моделей логистических бизнес-процессов необходимо уделять особое внимание информационным потокам, отражающим все производственные и управленческие процессы сервисной компании, а также способам обработки и анализа информации.

Для стимулирования выработки идей при моделировании бизнес-процессов создания и предложения сервисных продуктов можно использовать следующие принципы:

– клиент по возможности должен сам участвовать в процессе моделирования (например, в мониторинге показателей); вовлекая его в процесс создания сервисного продукта, организация получает, таким образом, максимум информации относительно его предпочтений;

– отношения с поставщиками должны быть партнерскими, построены на принципах «синергии» (например, разработка общих стандартов обслуживания);

– необходимо создавать различные варианты бизнес-процессов, учитывающие всевозможные сценарии процесса обслуживания (например, формирование сервисного продукта с учетом индивидуальных запросов клиента и т. д.);

– следует централизовывать обмен информацией при наличии децентрализации подразделений его участников (логистическая цепочка «туроператор – турагент – авиакомпания – гостиница – клиент» и т. д.) [3].

Использование логистического подхода к моделированию бизнес-процессов создания и предложения сервисных продуктов также дает менеджерам возможность определить потенциальные «узкие места» в сервисном процессе, т. е. моменты, которые чреваты значительным риском того, что процесс даст сбой и качество обслуживания понизится. На основе этих знаний менеджеры могут разработать модели бизнес-процессов, позволяющие избежать таких негативных моментов. Кроме того, в логистической цепи определяются операции сервисного процесса, которые, как правило, сопровождаются возникновением очереди. Для устранения задержек в процессе обслуживания разрабатываются и внедряются стандарты по каждому виду деятельности работников компании, включающие время, отводимое на выполнение каждой операции, максимальное время ожидания потребителей между их выполнением, а также должностные инструкции, регулирующие взаимодействие между служащими компании и потребителями.

Приступая к моделированию бизнес-процессов создания и предложения сервисных продуктов, необходимо представить их роль в общем ряду бизнес-моделей компании. В общем случае, задача использования логистического подхода к структурному описанию бизнес-процессов может преследовать следующие цели:

1. Стратегический анализ организации процессов компании с целью моделирования взаимодействия ее подразделений между собой и с контрагентами.

2. Организация и оптимизация логистических цепочек, упомянутых ранее. Однако только немногие компании могут позволить себе иметь полное описание своей деятельности с необходимой для управления степенью детализации. Поэтому в качестве объектов для формального описания должны быть выбраны «ключевые» процессы компании, наиболее сильно отражающиеся на ее конкурентоспособности (можно начать с выявления таких процессов с помощью типовых техник логистического анализа: методов ABC и XYZ и т. п.).

3. Постановка системы качества, также связанная с достижением стратегических целей предприятия, так как одно из требований стандарта качества ISO-9000 заключается в том, что деятельность компании рекомендуется описывать как совокупность бизнес–процессов, что позволяет достигнуть ее лучшей прозрачности в части обеспечения «гарантированного уровня качества разработок, производства и поставок продукции».

4. Формальное описание бизнес-процессов, которое является необходимым условием их компьютеризации.

Здесь надо еще точнее представить каждый из процессов – ресурсы, документы, исполнителей, действия, условия ветвления и т. п.

Таким образом, детальный, пооперационный анализ логистических бизнес-процессов позволяет достаточно легко выявить операции, затраты на выполнение которых требуется сократить за счет автоматизации, повышения производительности труда, нормирования, а в некоторых случаях за счет исключения данных операций или передачи на аутсорсинг. Однако стоит отметить, что одного желания и зрелости менеджмента компании еще недостаточно. В данном случае важно наличие логистических операторов в регионе, способных предложить подобного рода услуги, что является самым большим ограничением логистического аутсорсинга.

После полного описания бизнес-процессов компании, в том числе и логистических, начинается моделирование и создание интегрированной логистической системы всей компании, где все бизнес-процессы взаимоувязанны и оптимизированны.

Необходимость такой системы объясняется тем, что в современных условиях необходимы и важны не только оптимальное использование имеющихся ресурсов и повышение производительности труда, но и высокая степень управляемости, выражающаяся в гибкости и быстроте реагирования на изменение внешней бизнес-ситуации при ориентации на постоянное активное взаимодействие с потребителями сервисных продуктов (CRM-технологии, call-центры и т. д.).

Библиографические ссылки

1. Чернышев Б. Менеджмент в сервисной экономике: сущность и содержание // Проблемы теории и практики управления. 2004. № 1.

2. Лавлок К. Маркетинг услуг: персонал, технология, стратегия. 4-е изд. М. : Изд. дом «Вильямс», 2005.

3. Ильин В. В. Моделирование бизнес-процессов. Практический опыт разработчика. М. Изд. дом «Вильямс», 2006.

T. N. Odintsova

PROCESS OF SERVICE PRODUCTS CREATION: LOGISTICAL APPROACH

The logistical approach to solving a complex problem, in particular, creation of new service products is considered in this article. The logistical approach is based on increasing flexibility of service technologies and allows to adapt them to current changes within the demand for the supplied services. Application of this approach requires various variants of effective business-processes of service to be developed, in order to avoid eventual "failures" during the process of service product consumption by consumer. Urgency of the article is determined by increasing demand of the society for qualitative services, including tourist services.

Keywords: logistics, service product, tourist services, business process.

© Одинцова Т. Н., 2010

УДК 688

И. И. Федорова

ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЛДИНГА

Рассматриваются основные проблемы сохранения конкурентоспособности холдинговых объединений. Предложен метод оценки эффективности деятельности машиностроительного холдингового объединения (метод шестикоординатного вектора) при определении готовности его к реформированию в условиях быстроменяющихся требований рынка.

Ключевые слова: конкурентоспособность, холдинговая организация, машиностроение, векторный анализ.

Необходимость сохранения конкурентоспособности в условиях нестабильного рынка ставит перед менеджментом холдинговых организаций серьезные задачи. Опережающими темпами растут цены на ресурсы для производственных целей, на топливо, электроэнергию, а также налоги на землю. Сохранение конкурентных позиций требует значительного роста эффективности использования ресурсов. Это предполагает коренное техническое перевооружение, диверсификационную смену номенклатуры выпускаемой продукции с повышением ее качественных характеристик. Кардинальная модернизация производства невозможна без значительных инвестиций. Но при действующем уровне рентабельности и моральном старении оборудования, которые характерны для большинства российских промышленных организаций, оно не привлекательно для внешних инвесторов, а собственных средств для решения масштабных задач модернизации недостаточно.

Для крупного бизнеса не свойственна высокая восприимчивость к нововведениям [1]. Он лишен возможности быстрой переориентации на производство нового продукта, реагирования на изменение общественных потребностей. Для него характерна жесткость организационной структуры. Но большие технические, технологические и экономические возможности делают этот бизнес устойчивым.

Поэтому анализ деятельности интегрированных систем по конкретным экономическим показателям жизненно необходим для обоснования эффективных управленческих решений. Реформирование организации выстраивается вокруг главной проблемы: как сделать, чтобы товаропроизводители смогли быстро адаптироваться к резко изменяющейся внешней среде в условиях кризиса и изменяющимся требованиям потребителей. Вертикально интегрированные системы в форме холдинга обладают большей адаптивностью к таким условиям. Это достигается за счет наличия разветвленной системы дочерних ООО в организации. Система служит для своевременного выявления слабых ее позиций на рынках и разработки предложений по нововведениям с продвижением их внутри вертикально интегрированной системы.

Проведение анализа требует своих методов и их применимости для конкретной хозяйственной системы. Выбор холдинга, осуществляющего машиностроительное производство, в качестве объекта анализа не случаен. Машиностроительный комплекс, производя разнообразную продукцию, характеризуется большей фондоемкостью, капиталоемкостью и трудоемкостью продукции. В качестве примера анализа возьмем ЗАО «Холдинг», представляющее собой производственно-хозяйственный комплекс, с входящими в него дочерними обществами, имеющими права юридического лица. В ЗАО «Холдинг» учреждены дочерние общества с ограниченной ответственностью, с использованием метода замещения активов. Главная задача дочерних обществ – обеспечить техническую эксплуатацию и хозяйственное обслуживание переданного в уставные капиталы имущества ОАО. В замену в уставном капитале ОАО появляются ценные бумаги: «Вклады в уставные капиталы ООО». Дочерние ООО имеют все необходимое: цехи и производственные участки, которые обеспечивают сертифицированный выпуск машиностроительной продукции и оснащены современными установками и необходимым оборудованием. Ценные бумаги вкладываются в уставный капитал управляющей компании ЗАО «Холдинг», а в замену в уставном капитале ОАО вместо вкладов в несколько ООО оказывается одна ценная бумага: «Вклад в уставный капитал управляющей компании ЗАО „Холдинг“». Деятельность ООО регулируется уставами. Они пользуются, управляют и распоряжаются наделенным ОАО «Холдинг» имуществом и осуществляют свою деятельность на условиях полного внутрихозяйственного расчета. Основной целью ЗАО «Холдинг» является получение прибыли. Для определения практических и методологических рекомендаций хозяйствующих субъектов при решении задач управления деятельностью необходимо проведение анализа с использованием системы методов оценки, разработанной А. Ф. Крюковым [1].

Рассмотрим применение метода шестикоординатного вектора. По этому методу рассчитываются относительные величины строк годовых балансовых отчетов к сумме баланса.

Координаты векторов рассчитываются по следующим формулам:

$$\text{координата } 1 = a_{i1} = \frac{\text{Внеоборотные активы (ф.1, стр.190)}}{\text{Баланс (ф.1, стр.700)}};$$

$$\text{координата } 2 = a_{i2} = \frac{\text{Оборотные активы (ф.1, стр.290)}}{\text{Баланс (ф.1, стр.700)}};$$

$$\text{координата } 3 = a_{i3} = \frac{\text{Прибыль (убыток) от продаж (ф.2, стр.50)}}{\text{Баланс (ф.1, стр.700)}};$$

$$\text{координата } 4 = a_{i4} = \frac{\text{Капитал и резервы (ф.1, стр.490)}}{\text{Баланс (ф.1, стр.700)}};$$

$$\text{координата } 5 = a_{i5} = \frac{\text{Долгосрочные обязательства (ф.1, стр.590)}}{\text{Баланс (ф.1, стр.700)}};$$

$$\text{координата } 6 = a_{i6} = \frac{\text{Краткосрочные обязательства (ф.1, стр.690)}}{\text{Баланс (ф.1, стр.700)}}.$$

Вычисленные координаты шестикоординатного вектора образуют матрицу:

$$F_i = | a_{ij} |,$$

где i – отчетный период, $i = 1, ..., n$; j – координата шестикоординатного вектора.

Таким образом, матрицы шестикоординатного вектора принимают следующий вид:

$$F_i = (a_{i1}\, a_{i2} \ldots a_{i6}),$$
$$F_{i+1} = (a_{(i+1)1}\, a_{(i+1)2} \ldots a_{(i+1)6}),$$
$$F_n = (a_{n1}\, a_{n2} \ldots a_{n6}).$$

Координаты векторов рассматриваются в динамике поквартально и наглядно показывают эффективность деятельности холдинга.

Снижение доли иммобилизации средств во внеоборотные активы (координата 1) с одновременным увеличением доли оборотных активов (координата 2) позволяет организации эффективно использовать основные производственные фонды для выпуска i-товара. Рост нормы прибыльности (координата 3) обеспечивает возможность управления прибылью при продаже i-товара через отношение ее к балансу (через расчетную долю от баланса). Рост доли капитала и фондов (координата 4) позволяет организации иметь нераспределенную прибыль для собственного инвестирования бизнес-планов. Координата 5 выявляет изменение относительной доли долгосрочных инвестиций в балансе организации. Уменьшение доли краткосрочной кредиторской задолженности (координата 6) в балансе показывает рост имиджа организации, так как снижаются его текущие и краткосрочные долги.

Рассчитаем относительные величины строк годовых балансовых отчетов ЗАО «Холдинг» к сумме баланса. Полученные результаты представим в виде таблицы.

С помощью модели шестикоординатного вектора относительных значений строк балансовых отчетов ЗАО «Холдинг» (см. рисунок), оценивая динамику координат, определим эффективность деятельности ЗАО «Холдинг».

Графическое изображение вектора четко показывает, что значения координат 1–6 в 2001 г. явно отличаются от

соответствующих значений за период 2002–2008 гг., которые имеют схожую динамику. В 2001 г. в ЗАО «Холдинг» наблюдается достаточно высокая доля иммобилизации средств во внеоборотные активы (координата 1). При этом в два раза ниже доля оборотных активов (координата 2). Норма прибыльности (координата 3) – на уровне средней арифметической за рассматриваемый период и близка к нулю. Достаточно высокая доля капитала и фондов (координата 4). Доля долгосрочных инвестиций (координата 5) близка к нулю, а также низок уровень заемных средств и краткосрочных кредитов (координата 6). В 2001 г. ЗАО «Холдинг» шло по однотипному пути в процессе управления внеоборотными активами, т. е. в 2001 г. организация использовала экстенсивные методы управления основными средствами, когда прирост выручки осуществляется за счет увеличения фондов. Данная ситуация объясняется исключительно изменением правоотношений управляющей компании ЗАО «Холдинг», которая была учреждена в 2000 г., и ее центров прибыли.

Как уже отмечалось, значения координат 1–6 в период 2002–2008 гг. имеют схожую динамику:

– наблюдается снижение значения координаты 1 (доля иммобилизации средств во внеоборотные активы), при этом значение координаты 2 (доля оборотных активов) кратно возрастает; экономический смысл динамики указанных координат заключается в увеличении эффективности использования основных производственных фондов;

– значения координаты 3 (норма прибыльности) стремятся к нулю (кроме значений 2005–2006 гг.), что говорит о более высокой зависимости эффектов деятельности от качества управления себестоимостью, чем от изменения рентабельности;

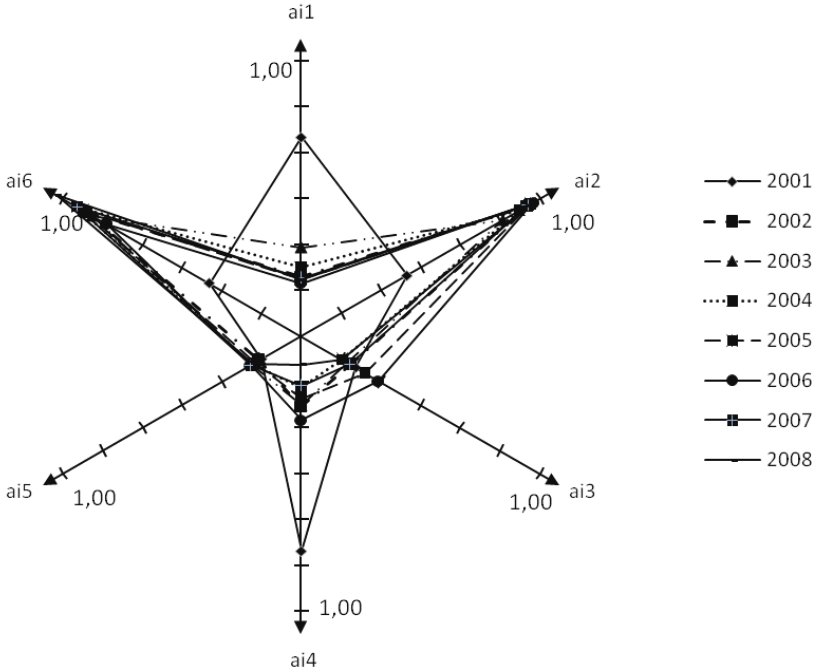
– тенденция к снижению значений координат 4 и 5 имеет неявный характер и свидетельствует о частичной замене сторонних долгосрочных инвестиций собственной нераспределенной прибылью, что, в свою очередь, показывает заинтересованность ЗАО «Холдинг» в саморазвитии;

– краткосрочная кредиторская задолженность (координата 6) возрастает в силу проведения политики укрупнения центров прибыли, в том числе за счет перевода функциональных подразделений и одновременной трансформации отрицательного сальдо внутренних лицевых счетов во внешние балансовые.

В целом сравнение динамики координат вектора дает наглядное представление и доказывает повышение устойчивости ЗАО «Холдинг» за счет роста эффективности дифференциации в рассматриваемом периоде.

Таким образом, шестикоординатный вектор относительных значений строк балансовых отчетов может служить комплексным индикатором экономической эффективности деятельности организации.

Проведенная оценка обозначила ряд проблем, характерных для организаций, осуществляющих машиностроительное производство:



Модель шестикоординатного вектора относительных значений строк балансовых отчетов ЗАО «Холдинг»

Относительные величины строк годовых балансовых отчетов ЗАО «Холдинг»

Год	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	a_{i5}	a_{i6}
2001	0,67	0,33	0,07	0,74	0,00	0,26
2002	0,06	0,94	0,05	0,11	0,01	0,88
2003	0,19	0,81	0,03	0,10	0,05	0,85
2004	0,10	0,90	0,00	0,02	0,05	0,93
2005	0,05	0,95	0,12	0,07	0,03	0,90
2006	0,03	0,97	0,19	0,17	0,05	0,78
2007	0,05	0,95	0,04	0,02	0,05	0,93
2008	0,05	0,95	0,01	-0,08	0,04	1,03

1. Чрезмерно быстро увеличивается кредиторская задолженность организаций. Это указывает на серьезное снижение финансовой устойчивости организации вследствие высокой доли заемного капитала в структуре пассивов. При этом организация продолжает получать кредиты и наращивать «плохие долги».

2. Несбалансированность технологического капитала и недостаточно эффективное использование его составляющих. Крайняя физическая изношенность оборудования и низкий уровень расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) сосуществуют с высокими показателями применения информационно-коммуникационных технологий, обеспеченности квалифицированными кадрами и внутренней организационной инфраструктурой (подразделениями НИОКР, вычислительными сетями, наличием сертификации по стандартам качества управления ISO).

3. Инновации идут в высокорентабельные, быстрорастущие производства продукции, в том числе выходящей на внешние рынки, в те из них, где существующих мощностей уже не достаточно для увеличения выпуска. Инвестиции ориентируются именно на показатели прибыльности, а не на абстрактный уровень эффективности.

4. Относительно низкая инвестиционная активность отражается и в финансовых показателях организаций. Недостаточность инвестиций обусловлена нехваткой собственных средств для развития при низкой инвестиционной привлекательности российских обрабатывающих производств для инвесторов. При этом во всех группах показатели рентабельности имеют тенденцию к снижению. В целом организации, более успешные в производственной деятельности, оказываются более конкурентоспособными и на рынке капитала.

5. Организации практически не используют такой источник капитала, как фондовый рынок (акции, конвертируемые облигации). Не готовы они и к привлечению внешних стратегических инвесторов.

6. Самой острой системной проблемой для всех подразделений и служб подобных организаций становится недостаточная квалификация требуемых специалистов. Это связано и с отсутствием адекватного предложения на рынке труда, и с неразвитостью внутрифирменного обучения. В целом конкурентоспособные организации активно совершенствуют систему управления под развитие требований TQM, но соответствующая работа не сбалансирована по направлениям и ведется вне рамок четкой стратегии циклического развития.

7. В значительной степени проблема дефицита трудовых ресурсов лежит на стороне спроса. Она связана с неспособностью низкоэффективных обрабатывающих организаций оплачивать конкурентную заработную плату.

В целом уровень конкуренции неоднозначно влияет на эффективность организаций. Наличие конкуренции, прежде всего в экспортируемой продукции, стимулирует организации к более активной диверсификационной реструктуризации и инновационной деятельности. Это проявляется в показателях освоения новой продукции, закупки новых технологий, проведения НИОКР и т. д.

Экономические исследования показали, что среди экспортеров доля конкурентоспособных компаний вдвое выше, чем среди организаций, работающих исключительно на внутреннем рынке (независимо от доли экспорта в объеме продаж) [2]. Это означает, что экспортность продукции можно считать признаком конкурентоспособности, и для ее стимулирования целесообразно использовать меры промышленной политики через сертификацию производства под требования ISO и стандартизацию. Иностранные собственники, в отличие от российских, чаще находят эффективные ниши для производства экспортных товаров на территории России. Необходимо позиционироваться в более доходных звеньях цепочки создания добавленной стоимости; усиливать работу структурных подразделений по разработке, проектированию и дизайну продукции под требования ISO, подразделений по маркетингу и рекламе, послепродажному сервису; обучать и повышать квалификацию персонала. Наиболее значимый вклад в производительность труда вносит технологический капитал организаций (фондовооруженность и создание IT-подразделений), а также осуществление международной сертификации производства по стандартам ISO. Наличие внутреннего подразделения НИОКР и обращение к внешним источникам знаний в наибольшей степени определяют инновационную активность организаций. Экспорт и встречная покупка технологий, которые находят применение в машинах и оборудовании, также оказывают значимое и положительное влияние на инновационное поведение. Вероятность продуктивных и технологических инноваций повышается, если организация ведет самостоятельные научно-технические разработки.

Библиографические ссылки

1. Крюков А. Ф. Интеграция дифференцированных структур в организации холдингового типа : моногр. Красноярск : Изд-во Краснояр. гос. ун-та, 2004.

2. Российская промышленность на перепутье: что мешает нашим фирмам стать конкурентоспособными : доклад ГУ-ВШЭ / Государственный университет – Высшая школа экономики // Вопросы экономики. 2007. №3. С. 4–34.

I. I. Fedorova

VECTORIAL ANALYSIS OF ECONOMIC EFFECTIVENESS OF HOLDING

The article covers the main problems of maintenance of competitiveness of holding associations. One of the methods of estimation of effectiveness of machine-building holding association's activity is offered for determination of its readiness to reformation in the conditions of quickly changing requirements of market (the method of six coordinates is used).

Keywords: competitiveness, holding association, machine-building, vectorial analysis.

© Федорова И. И., 2010

УДК 332.142.2

Ю. А. Аникина, Р. И. Кузьмич

СГЛАЖИВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Рассматривается проблема дифференциации социально-экономического развития муниципальных образований в городской агломерации. Описывается процесс формирования механизма регулирования социально-экономического развития в городской агломерации как инструмента сглаживания дифференциации.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие, механизм регулирования, сглаживание дифференциации.

Современная специфика государственной политики территориального развития Российской Федерации заключается в смещении основополагающих принципов регулирования: от выравнивания показателей социально-экономического развития регионов вне зависимости от результатов их хозяйственной деятельности до идеи поляризованного развития. Новая политика поляризованного развития основана на поиске перспективных регионов и концентрации в них ресурсов. Вместе с этим, проблема неравномерности социально-экономического развития как регионов, так и их муниципальных образований в последнее десятилетие все больше привлекает внимание исследователей. От решения этой проблемы зависит эффективность функционирования региональной социально-экономической системы, повышение качества жизни населения, а также снижение социальной напряженности.

Вопросы сглаживания дифференциации социально-экономического развития регионов решаются в основном посредством межбюджетных отношений в ущерб другим регуляторам воздействия на динамику социально-экономического развития регионов, что снижает возможность получения объективных оценок результативности государственной политики поляризованного развития и анализа последствий принимаемых государственных решений для регионов [1]. Как показывает мировая практика, данная схема регионального регулирования рассчитана на использование значительных бюджетных средств, дефицит которых снижает возможности управления региональными ресурсами, и может быть эффективно использована только при стабильном характере развития экономических процессов. Таким образом, формирующиеся инструменты и механизмы регулирования устойчиво воспроизводятся и закрепляют негативные тенденции в социально-экономической системе.

Проблема неравномерности социально-экономического развития становится актуальной на уровне муниципальных образований в городской агломерации. Разрыв между муниципальными образованиями в городской агломерации по основным экономическим и социальным показателям является также значительным. В городской агломерации существует свой полюс роста, который стягивает различного рода ресурсы. При этом концентрация населения и производства в нескольких точках городской агломерации порождает не только экономические, но и, прежде всего, социальные и политические проблемы.

Сложившаяся ситуация ведет к необходимости пересмотра подходов к решению агломерационных проблем – разработке и реализации инструментария сглаживания социально-экономической дифференциации муниципальных образований, позволяющих реагировать на последствия дифференциации социально-экономического развития муниципальных образований, учитывать особенности отдельных территорий при реализации региональной политики, усиливать конкурентные преимущества территорий, разрабатывать и осуществлять планы развития городской агломерации, опирающиеся не на бюджетные ресурсы, а на использование местного потенциала с учетом целей и задач политики поляризованного развития.

Необоснованность использования, распределения и контролирования ресурсов в процессе сглаживания дифференциации приводит к необходимости формирования специального механизма регулирования социально-экономического развития муниципальных образований в городской агломерации.

Процесс формирования механизма регулирования социально-экономического развития в городской агломерации можно представить в виде определенной последовательности шагов (см. рисунок).

Исходными элементами для формирования механизма регулирования социально-экономического развития в городской агломерации являются конкретный объект регулирования и цель трансформации состояния или деятельности этого объекта. В качестве объекта регулирования выбран элемент структуры социально-экономического развития – жилищно-коммунальное развитие (ЖКР). *Первым шагом* будет согласование указанных элементов, согласование целей с интересами субъектов регулирования, т. е. формирование пары категорий ($ОР_{жкр}$, $ЦР_{жкр}$). Основной целью регулирования ($ЦР_{жкр}$), на реализацию которой направлен механизм регулирования жилищно-коммунального развития в городской агломерации, является выравнивание отклонений значений показателей жилищно-коммунального развития муниципальных образований от базовых значений данных показателей по всей агломерации.

Согласно принципам целеполагания, на которые опирается механизм регулирования жилищно-коммунального развития, необходимо декомпозировать основную цель на следующие подцели:

– выравнивание уровня технической обеспеченности;

– выравнивание качества жилья;

– выравнивание уровня технического содержания жилищного фонда;

– выравнивание уровня надежности инженерных систем;

– выравнивание качества жилищно-коммунальных услуг;

– выравнивание обеспеченности населения в жилищно-коммунальных услугах;

– выравнивание состояния системы общегородского хозяйства.

Для достижения поставленных целей возникает необходимость трансформации целей в конкретные задания (критерии регулирования), т. е. формируется пара $ЦР_{жкр}$ и $КР_{жкр}$. В соответствии с принципом измеримости, каждый критерий характеризуется конкретным показателем (табл. 1).

Второй шаг в построении механизма регулирования жилищно-коммунального развития заключается в выявлении факторов регулирования ($ФР_{жкр}$), на которые необходимо оказывать воздействие, чтобы выполнить задания и добиться поставленных целей, т. е. формируется пара $КР_{жкр}$, $ФР_{жкр}$. Если требуемая совокупность факторов регулирования не может быть сформирована, то уточняется объект регулирования и (или) цель, т. е. формируется новая пара $ОР_{жкр}$, $ЦР_{жкр}$, а затем вновь пары $ЦР_{жкр}$, $КР_{жкр}$ и $КР_{жкр}$, $ФР_{жкр}$.

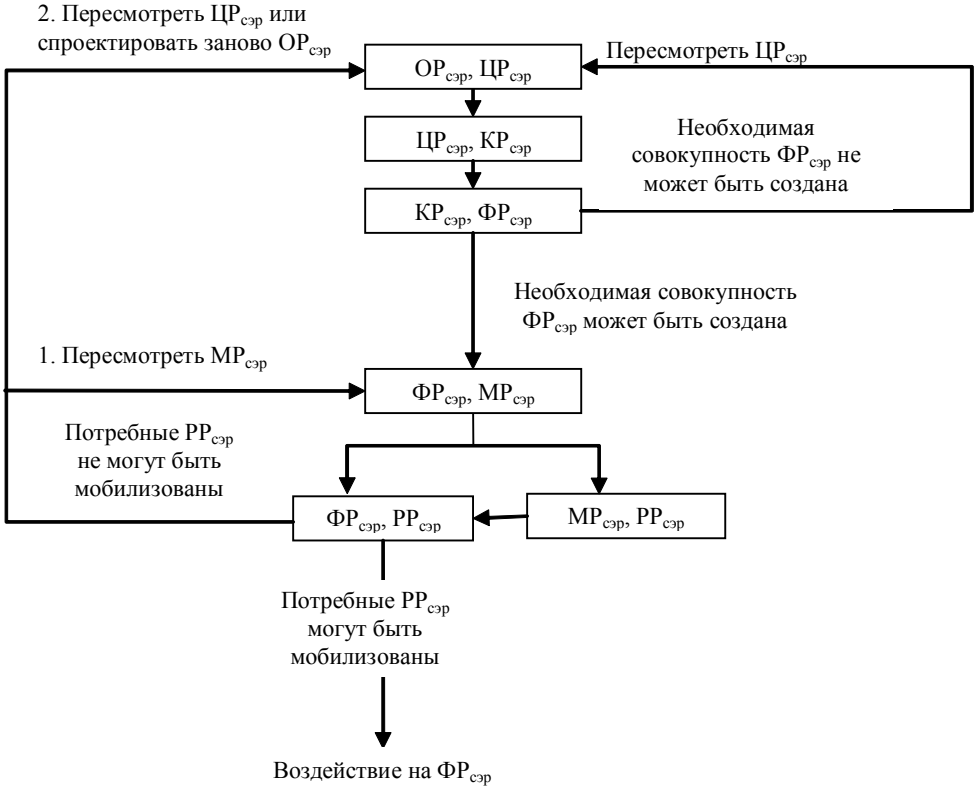
Такими факторами могут считаться свойства и элементы объекта регулирования в целом, свойства этих элементов, их связи с другими элементами, связи объекта регулирования с социально-экономической средой. Так как объект регулирования (в данном контексте – жилищно-коммунальное развитие) обладает свойствами системности, изменение состояния того или иного фактора под влиянием регулирующего воздействия приводит к изменению состояния объекта регулирования в целом или отдельных его частей. Для организации воздействия на факторы регулирования различной природы необходимо выявить их совокупность и степень соответствия факторов критериям регулирования, с тем чтобы оценить потребность и возможность мобилизации ресурсов для приведения факторов регулирования в соответствие с поставленной целью (критерием).

В ходе формирования механизма регулирования жилищно-коммунального развития в городской агломерации должны быть учтены следующие группы факторов: экологическая ситуация, человеческий потенциал, хозяйственные взаимоотношения, инфраструктура, ресурсная обеспеченность, система управления городской агломерацией.

Степень согласованности критериев регулирования и факторов регулирования можно оценить с помощью сопоставления планируемых и достигнутых показателей состояния факторов и показателей результатов (затрат, эффектов, эффективности), достижение которых обеспечивается мобилизацией указанных факторов.

Третий шаг в формировании механизма регулирования жилищно-коммунального развития в городской агломерации заключается в установлении методов воздействия на факторы регулирования, т. е. формируется пара $ФР_{жкр}$, $МР_{жкр}$. Характер воздействия зависит от природы фактора и его восприимчивости к тем или иным методам воздействия. Комплексность методов воздействия на факторы различной природы определяет объективную необходимость формирования комплексного механизма регулирования жилищно-коммунального развития. С помощью методов управленческого воздействия формируются ресурсы, необходимые для регулирования данного развития в городской агломерации, осуществляются практические мероприятия.

Вопрос классификации методов управленческого воздействия на сегодняшний день остается дискуссионным,



Алгоритм формирования структуры механизма регулирования социально-экономического развития в категориях регулирования: ОР – объект регулирования; ЦР – цели регулирования; КР – критерии регулирования; ФР – факторы регулирования; МР – методы регулирования; РР – ресурсы регулирования; СЭР – социально-экономическое развитие

особенно это проявляется в сфере регионального управления. Изучив и систематизировав точки зрения различных авторов на эту проблему, предлагаем следующую структуру методов управленческого воздействия на жилищно-коммунальное развитие по виду используемых регулирующих инструментов (по содержанию):

1. Административные методы управленческого воздействия, которые базируются на силе и авторитете органов власти, не связаны с созданием дополнительных материальных стимулов для их реализации, включают весь комплекс принятия нормативно-правовых документов, создающих и регулирующих правовые условия деятельности субъектов жилищно-коммунального развития.

2. Экономические методы управленческого воздействия, призванные учесть многообразие интересов и мотивов деятельности различных субъектов жилищно-коммунального хозяйства, создать условия, способствующие выбору ими экономического поведения, позволяющего взаимоувязывать общественные и частные интересы [2].

3. Институциональные методы управленческого воздействия, заключающиеся в создании и поддержке ряда институтов, необходимых для деятельности субъектов жилищно-коммунального хозяйства и реализации стратегии его развития в городской агломерации.

4. Социально-психологические (мотивообразующие) методы управленческого воздействия, которые заключаются в обеспечении согласования интересов субъектов жилищно-коммунального хозяйства, так как только при совпадении в долгосрочной перспективе интересов всех взаимодействующих субъектов жилищно-коммунального хозяйства возможна активизация социально-экономических процессов и улучшение социально-экономического климата в городской агломерации [3].

Необходимо также отметить важнейшие функции механизма регулирования жилищно-коммунального развития в городской агломерации: диагностику, стратегическое планирование, стимулирование, контроль.

Диагностика в механизме регулирования жилищно-коммунального развития в городской агломерации представляет собой исходную функцию, поскольку для выполнения всех других функций необходимо, прежде всего, иметь достаточно достоверную информацию оценочного порядка о затратах и результатах по всем видам хозяйственной деятельности без исключения.

Немаловажной общей функцией является функция *стратегического планирования*. Иногда экономисты называют ее планово-прогнозной. И прогнозирование, и планирование – имманентно присущие любой экономике методы достижения сбалансированности развития в городской агломерации.

Прогнозирование жилищно-коммунального развития в городской агломерации представляет собой систему

Таблица 1

Согласование целей и критериев регулирования жилищно-коммунального развития муниципального образования в городской агломерации

Цели регулирования жилищно-коммунального развития	Критерии регулирования жилищно-коммунального развития	Показатели регулирования жилищно-коммунального развития	Примечание
Выравнивание уровня жилищной обеспеченности	Уровень жилищной обеспеченности	Уровень жилищной обеспеченности, м^2 общей площади на жителя	–
Выравнивание качества жилья	Качество жилья	Качество жилья, баллы	Качество жилья определяется экспертно в соответствии с принятыми стандартами
Выравнивание уровня технического содержания жилищного фонда	Уровень технического содержания жилищного фонда	Уровень технического содержания жилищного фонда, баллы	Определяется экспертно в соответствии со стандартами
Выравнивание уровня надежности инженерных систем	Уровень надежности инженерных систем	Снижение числа отказов инженерных систем в год, %	Определяется экспертно в соответствии со стандартами
Выравнивание качества жилищно-коммунальных услуг	Качество жилищно-коммунальных услуг	Индекс качества предоставления жилищно-коммунальных услуг, %	Определяется экспертно в соответствии со стандартами
Выравнивание обеспеченности населения в жилищно-коммунальных услугах	Обеспеченность населения жилищно-коммунальными услугами	Коэффициент обеспеченности населения жилищно-коммунальными услугами, %	Определяется экспертно в соответствии со стандартами
Выравнивание состояния системы общегородского хозяйства	Состояние системы санитарной очистки	Степень переработки отходов, % ко всем отходам	Определяется экспертно по разработанной шкале
	Качество содержания улиц и внутриквартальных территорий	Уровень содержания улиц и внутриквартальных территорий, баллы	Определяется экспертно по действующей методике

научно обоснованных представлений о направлениях этого развития, основанных на законах рыночного хозяйства. При планировании используются различные методы или их сочетание: балансовый метод, нормативный метод, экономико-математические методы и модели. В современных условиях широко используется программно-целевой метод планирования, с выделением долгосрочных целевых комплексных программ.

Стимулирующая функция механизма регулирования выражается в построении и функционировании систем, согласовывающих и направляющих социально-экономические интересы субъектов регулирования жилищно-коммунального развития на эффективное хозяйствование через обеспечение соответствующего стимулирования.

Очевидно, что механизм регулирования жилищно-коммунального развития будет эффективен лишь в том случае, когда он усиливает мотивацию деятельности субъектов регулирования, а сдвиг мотивов на цели деятельности достигается на основе согласования выдвигаемых целей с интересами субъектов регулирования.

Контролирующая функция должна включать меры последовательного и постоянного отслеживания хода реализации каждого элемента механизма регулирования, будь то масштабная целевая программа, трансферт или ситуативное решение в любой поддержке какого-либо градообразующего объекта.

Четвертый шаг в формировании механизма регулирования жилищно-коммунального развития заключается в определении совокупности необходимых ресурсов регулирования, посредством которых организуется управленческое воздействие на состояние соответствующих факторов регулирования. Под ресурсами регулирования следует понимать источники воздействия на факторы регулирования. Эти источники могут носить различную природу: финансовую, материальную, социальную и др. Источники воздействия не являются изолированными, так как образуются в результате взаимного влияния.

В ходе реализации стратегии жилищно-коммунального развития в городской агломерации используются различные ресурсы, причем отдельные группы ресурсов в реальности представляют собой сложную комбинацию других видов ресурсов. Приведем группы ресурсов механизма регулирования жилищно-коммунального развития муниципальных образований в городской агломерации:

1. Нормативно-правовые ресурсы – нормативно-правовые акты, регламентирующие процесс хозяйственной деятельности предприятий жилищно-коммунального комплекса и обеспечивающие необходимую информационную поддержку принятия решения органами государственной власти.

2. Информационные ресурсы – достоверная информация об оказываемых коммунальных услугах, претензиях к их качеству, учете потребителей услуг и финансово-хозяйственной деятельности на территории Российской Федерации предприятий жилищно-коммунального хозяйства и контролирующих инстанций любого уровня.

3. Организационное обеспечение – необходимые организационные структуры, осуществляющие действия по инициированию, развитию и контролю над достижением поставленных целей стратегии жилищно-коммунального развития в городской агломерации.

4. Финансовые ресурсы – величина стоимости, адекватная ее материально-вещественной форме, находящаяся в постоянном или временном пользовании хозяйствующих субъектов жилищно-коммунального хозяйства, государственных и территориальных органов власти на основе действующих, законодательно принятых норм, на цели производства и воспроизводства.

5. Трудовые ресурсы – штат сотрудников, численность сотрудников конкретного объекта жилищно-коммунального хозяйства; трудозатраты (человеко-дни, человеко-часы); заработная плата, премии и другие виды вознаграждения; предпринимательские способности; профессиональные требования (опыт, знания и умения); творческие и психологические качества работников.

6. Материально-технические ресурсы – отдельные здания и их комплексы; вспомогательные помещения и сооружения; подъездные пути и площадки; эстакады, трубопроводы и другие инженерные сооружения; технологические линии; отдельные комплексы машин и оборудования; другое имущество жилищно-коммунального хозяйства.

Ресурсы, как правило, являются ограниченными в рамках конкретного пространственно-временного интервала. Следствием ограниченности имеющихся ресурсов является стремление к их наилучшему (оптимальному) использованию. Так, если объем используемых ресурсов известен, то максимизируется результат; если известен результат, который необходимо достичь, то минимизируется объем потребляемых ресурсов.

Ограничения по ресурсам могут приводить к необходимости пересмотра состава выявленных факторов регулирования или методов управленческого воздействия на них. А это, в свою очередь, потребует изменения ранее установленных целей жилищно-коммунального развития и приведения их в соответствие с реальными возможностями воздействия на факторы. Только при наличии такого соответствия можно считать, что группа факторов, воздействие на которые может дать реальные результаты, выявлена [4].

После определения ресурсов регулирования последовательно формируются пары $МР_{жкр}$, $РР_{жкр}$ и $ФР_{жкр}$, $РР_{жкр}$. Результатом будет приведение объекта регулирования в соответствие с поставленными целями. Если не может быть мобилизован нужный объем ресурсов, потребуется пересмотреть методы регулирования или вновь вернуться к паре $ОР_{жкр}$, $ЦР_{жкр}$.

В рамках частных целей, а именно, выравнивание обеспеченности населения в жилищно-коммунальных услугах и выравнивание состояния системы общегородского хозяйства, на примере Красноярской агломерации предлагаются следующие мероприятия:

1. Строительство и ввод в эксплуатацию энергокомплекса с модулем комбинированного сжигания твердых бытовых отходов (ТБО) на базе плазмохимической технологии в комплексе с несколькими полигонами, расположенными в разных районах. Предлагается применить разработки научного центра «Курчатовский институт» в сотрудничестве с рядом отечественных организаций, а так-

же с американской фирмой Plasma Technology Comporation. Эти институты ведут разработку универсальной экологически чистой плазмохимической технологии переработки твердых бытовых отходов. Данное предприятие уничтожает 150 тыс. т мусора в год и производит электроэнергию в количестве свыше 50 млн кВт·ч в год.

2. Строительство и ввод в эксплуатацию мусоросжигательного завода. Производительность завода составляет 360 тыс. т в год, т. е. 1 тыс. т. в сутки. Название «мусоросжигательный завод» не совсем точно и полно определяет значение предприятия, скорее это небольшая теплоэлектроцентраль на альтернативном топливе. Предприятие производит около 10 МВт·ч электроэнергии.

Реализация предложенных мероприятий позволит изменить интегральный показатель в рамках предложенного механизма регулирования, повлияв тем самым на осуществление основной цели регулирования (табл. 2, 3).

В результате реализации мероприятия по строительству и вводу в эксплуатацию энергокомплекса с модулем комбинированного сжигания твердых бытовых отходов на базе плазмохимической технологии, интегральный показатель изменится на 3,14 % относительно исходного, а при реализации мероприятия по строительству и вводу в эксплуатацию мусоросжигательного завода – на 5,625 %.

Агломерационная экономия, возникающая вследствие взаимодействия в рамках предложенных мероприятий, в этом случае распространяется на все муниципальные образования, расположенные в Красноярской агломерации. Такая экономия получается благодаря экономии от масштабов производства и локализационной экономии, связанной с местом расположения предприятий.

Таким образом, формирование механизма регулирования позволит упорядочить процесс сглаживания дифференциации социально-экономического развития муниципальных образований в городской агломерации, а реализация предложенных мероприятий в рамках данного механизма регулирования снизит дифференциацию на 8 %.

Библиографические ссылки

1. Скуфьина Т. П., Баранов С. В. Анализ и регулирование региональных социально-экономических систем (на примере зоны Севера России). Апатиты : Изд-во Кольск. науч. центра РАН, 2007.

2. Капканщиков Г. П., Капканщиков С. Г. Государственное регулирование экономики : учеб. пособие для студентов гуманит. фак. Ульяновск : Изд-во УлГТУ, 2000.

3. Жданов В. П. Инвестиционные механизмы регионального развития. Калининград : БИЭФ, 2001.

4. Круглов М. И. Стратегическое управление компанией. М. : Русская деловая литература, 1998.

Таблица 2

Динамика показателей регулирования на основе ввода в эксплуатацию энергокомплекса с модулем комбинированного сжигания твердых бытовых отходов на базе плазмохимической технологии

Оцениваемый показатель регулирования жилищно-коммунального развития	Плановая потребность в жилищно-коммунальных услугах в городской агломерации	Расчет показателя после ввода в эксплуатацию энергокомплекса с модулем комбинированного сжигания твердых бытовых отходов на базе плазмохимической технологии
Коэффициент обеспеченности населения жилищно-коммунальными услугами, %	Потребность в электроэнергии 79,5 ТВт·ч	$K_6 = 5 \cdot 10^{10} / 7{,}95 \cdot 10^{13} = 6{,}3 \cdot 10^{-4}$ или 0,063 %
Степень переработки отходов, % ко всем отходам	Потребность в переработке ТБО 800 тыс. т в год	$K_7 = 150/800 = 0{,}187\,5$ или 18,75 %
Интегральный показатель		$K_{общ} = (1/8) \cdot 0{,}063 + (1/8) \cdot 0{,}187\,5 = 0{,}031\,4$

Таблица 3

Динамика показателей регулирования на основе ввода в эксплуатацию мусоросжигательного завода

Оцениваемый показатель регулирования жилищно-коммунального развития	Плановая потребность в жилищно-коммунальных услугах в городской агломерации	Расчет показателя регулирования после ввода в эксплуатацию мусоросжигательного завода
Коэффициент обеспеченности населения жилищно-коммунальными услугами, %	Потребность в электроэнергии 79,5 ТВт·ч	$K_6 = 1 \cdot 10^7 / 7{,}95 \cdot 10^{13} =$ $1{,}26 \cdot 10^{-7}$ или 0,000 012 6 %
Степень переработки отходов, % ко всем отходам	Потребность в переработке ТБО 800 тыс. т в год	$K_7 = 360/800 = 0{,}45$ или 45 %
Интегральный показатель		$K_{общ} = (1/8) \cdot 1{,}26 \cdot 10^{-7} + (1/8) \cdot 0{,}45 =$ 0,056 25

Yu. A. Anikina, R. I. Kuzmich

THE SMOOTHING OF SOCIAL-ECONOMICAL DIFFERENTIATION IN DEVELOPMENT OF MUNICIPAL FORMATIONS IN URBAN AGGLOMERATION

The problem of differentiation of social-economical development of municipal formations in urban agglomeration is considered. The process of formation of regulation mechanism for social-economical development in urban agglomeration is described as smoothing tool of differentiation.

Keywords: social-economic development, regulation mechanism, smoothing of differentiation.

© Аникина Ю. А., Кузьмич Р. И., 2010

УДК 339.9(100)

В. А. Иванников

ГЕНЕЗИС ТЕОРИЙ ЦИКЛИЧНОСТИ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Исследован исторический аспект становления науки о циклическом развитии экономики. Рассмотрены основные положения экономических циклов с современных позиций.

Ключевые слова: теория цикличности, экономический цикл, кризисные фазы, экономический кризис.

Тенденции распространения негативных последствий и масштабов экономического кризиса подчеркивают важность изучения базовых предпосылок и основных механизмов развертывания кризисных фаз экономического цикла с учетом проблем и перспектив развития мирового рынка, в том числе и в историческом плане. Опыт развитых стран во многом свидетельствует и выявляет причины кризисов в функционировании разнообразных экономических систем. Все это позволяет констатировать, что экономическая наука в настоящее время нуждается в дополнительных исследованиях, позволяющих избежать в будущем в практической деятельности серьезных экономических потрясений и обеспечить рациональное использование природных ресурсов для достижения главной цели функционирования и развития социально-ориентированной экономики – наиболее полного удовлетворения разнообразных потребностей общества.

Целью данной работы явилось обобщение накопленного исторического опыта развития теорий цикличности с точки зрения мировой экономики.

В задачи данного исследования входило выявление закономерностей развития теорий цикличности мировой экономики в историческом плане.

Экономическое развитие представляет собой динамический процесс перехода из одного типа экономического равновесия в другой. Циклические схемы исторического процесса являются моделями функционирования общества, ограничены определенными временными горизонтами и выбором тех или иных подсистем и аспектов (экономики, культуры и т. д.). При этом повторяемость и цикличность задают ритм пульсаций в пространстве состояний системы и являются источником развития и стабильности, порождают циклическое время.

Впервые идея о циклическом развитии экономики предложена французским физиком Клементом Жюгляром (1819–1905), который в результате систематического анализа временных рядов цен и ставки процента во Франции, Великобритании и США выявил экономические колебания, связанные с обновлением активной части основного капитала, продолжительностью от 7 до 11 лет. Причиной кризиса К. Жюгляр считал [1] «расцвет» экономики предшествующий депрессии, когда на рынке увеличивается спекуляция, а банки предлагают «дешевые» кредиты [2]. Он первым доказал периодичность промышленных колебаний: «Не исходя ни из какой теории, ни из какой гипотезы, а основываясь только на наблюдении действительных фактов, можно установить закон периодичности кризисов» [3]. По его мнению, в качестве причин кризисов не могут выступать случайные события, такие как военные действия, неурожаи или увеличение количества выданных кредитов, они могут лишь ускорить его начало; периодическое колебание цен приводит к смене периодов оживления и замедления развития промышленности; период расцвета характеризуется ростом цен; кризис начинает приближаться, когда замедляется повышательное движение, и наступает, когда рост прекращается; основной причиной кризисов является остановка роста цен; по мере повышения цен на товары торговый баланс страны ухудшается; для оплаты импортных товаров начинается вывоз золота за границу, при этом вывоз товаров не покрывает их ввоз; чем выше становятся цены, тем больше золота уходит за границу. В результате цены достигают таких высот, что продажа товаров за границу становится затруднительной. Торговцы начинают возобновлять свои векселя в банках по мере истечения сроков их оплаты, именно этим объясняется рост дисконтной

ставки процента в период, предшествующий кризису. Так или иначе, товары необходимо оплачивать. В итоге цены падают, торговцы становятся банкротами, и наступает промышленный кризис. Как полагал К. Жюгляр, если бы оплата товаров осуществлялась без привлечения кредитных средств, то кризисы бы не происходили. «В Англии в связи с введением кредитов, кризисы стали возникать чаще» [1]. Кризисы происходят в тех странах, в которых хорошо развиты торговые отношения. Когда промышленность развивается, а количество кредитов увеличивается, в стране можно ожидать скорое начало нестабильного периода: чем богаче страна, тем глубже будет кризис. Увеличение ставки процента является только знаком, а не причиной кризиса. Настоящая причина заключается в диспропорции между капиталом и корректирующим его массу кредитом. К. Жюгляр рассматривал экономический цикл как закономерное явление, причины которого кроются в сфере денежного обращения, точнее, кредита. Кризис – основную фазу цикла – оценивал как оздоровляющий фактор, ведущий к общему снижению цен и ликвидации предприятий, созданных для удовлетворения искусственно разросшегося спроса. Он полагал, что повторение всех экономических процессов, вызванных банковской деятельностью, происходит каждые десять лет. Продолжительность цикла К. Жюгляра совпадает с продолжительностью циклов, основную причину которых некоторые экономисты видели в сроках физического износа активной части основных производственных фондов. Большинство современных экономистов, поддерживающих идею существования краткосрочных экономических циклов, склонны рассматривать их лишь как неотъемлемую часть общей циклической системы, основу которой составляют среднесрочные экономические циклы, получившие название циклов Клементина Жюгляра.

В конце XIX в. русский экономист Михаил Иванович Туган-Барановский (1865–1919), развивая в работе 1894 г. «Промышленные кризисы в Англии, их периодичность и влияние на народную жизнь» теорию кризисов, объясняет, «какие факторы благоприятствуют увеличению и сокращению продолжительности промышленного цикла, а также вскрывает и движущие силы самого цикла» [4]. В результате проведенных исследований М. И. Туган-Барановский приходит к выводу, что хотя кризисы в каждом случае индивидуальны, тем не менее, им присущи общие черты. «Состояние товарного рынка, непосредственно предшествующее кризису, изменения в области денежного обращения, сопровождающие развитие кризиса, следующие затем колебания кредита – во всем этом заметно такое сходство» [4]. По его мнению, промышленный цикл имеет длительность от 7 до 11 лет, при этом наиболее характерным показателем промышленных колебаний является изменение цен на железо; существует связь между циклами капиталистического хозяйства и колебаниями в отраслях, производящих из железа, как основного материала, элементы основного капитала (например, железные дороги, заводы); отличительной чертой начала кризисов является увеличение спекуляций с недвижимостью, рост количества новых предприятий.

Следует упомянуть и о так называемых строительных циклах, или циклах американского экономиста Саймона Кузнеца, который считал, что колебательные процессы связаны с периодическим обновлением жилищ и определенных типов производственных сооружений. Длинные колебания (long swings), обладающие самой большой амплитудой в строительстве, имеют двадцатилетний период. Он обнаружил взаимосвязь колебаний показателей национального дохода, потребительских расходов, инвестиций в производственное оборудование, в здания и сооружения с длительными интервалами быстрого роста и глубоких спадов или же застоя.

Колин Кларк (1905), американский экономист и статистик предполагал, что при соответствующей государственной политике, а именно регулировании деятельности монополий и национализации ряда отраслей, можно добиться смягчения циклических колебаний экономики.

Идея о циклическом развитии экономики получила дальнейшее распространение в научных трудах ряда ученых, и в первую очередь, отечественного экономиста Николая Дмитриевича Кондратьева (1892–1938). Большие (полувековые) циклы в экономике по праву носят имя Н. Д. Кондратьева, хотя не он был их первооткрывателем. Еще в середине XIX в. английский экономист Хайд Кларк заявил о существовании полувекового цикла мировой экономической конъюнктуры, однако не смог представить для своей теории убедительную интерпретацию. В 20-е гг. XX в. появилось предположение о существовании в развитии экономики капиталистического общества длинных волн продолжительностью около 50 лет. В работе «Мировое хозяйство и его конъюнктуры во время и после войны», опубликованной в 1922 г., Н. Д. Кондратьев на основе отрывочных данных, выдвинул гипотезу о существовании длинных волн в развитии капитализма. И позже в статьях «Спорные вопросы мирового хозяйства и кризиса (ответ нашим критикам)» (1923), «Большие циклы конъюнктуры» (1925), а также в докладе «Большие циклы экономической конъюнктуры» (1926), подкрепляя свои предположения глубоким анализом динамики основных показателей развития экономики Англии, Франции, США с конца XVIII в. до начала XX в., развил теорию о существовании больших циклов. Проанализировав внутренний механизм генезиса длинной волны, он установил органичную «встроенность» в него «ритмики технического прогресса». На основе оценки основных экономических показателей: индекса цен, заработной платы, процента на капитал, государственных долговых бумаг, оборота внешней торговли, выборочных натуральных показателей промышленного производства в мировом капиталистическом хозяйстве почти за 140 лет Н. Д. Кондратьев обосновал существование в исследованном временном интервале длинноволновых колебаний – трех больших циклов (включая последний, незавершенный на тот момент) продолжительностью от 47 до 60 лет, с периодическим чередованием восходящей и нисходящей фаз. Долговременными подъемами в мировом хозяйстве, по Н. Д. Кондратьеву, являются временные отрезки 1789–1814, 1849–1873 и 1896–1920 гг., а долговременными спадами – 1814–1849 и 1873–1896 гг. Материальной основой волнообразных движений рыночных экономик Н. Д. Кондратьев считал чередование процессов нарушения и восстановления состояний экономического равновесия. По

его мнению, отклонения от равновесного состояния между спросом и предложением предопределяют краткосрочные циклы, проявляющиеся в движении товарных запасов; периодичность нарушения равновесия между запасом «основных капитальных благ» и главными факторами, определяющими технический способ производства, лежит в основе больших циклов конъюнктуры. В ответ на критику и для подтверждения существования больших циклов Н. Д. Кондратьев сравнивал их со средними циклами с целью выявления причины существования больших циклов. Это позволило Н. Д. Кондратьеву выделить три типа равновесных состояний экономики [5]: «первого порядка» – равновесие между обычным рыночным спросом и предложением: отклонения от него инициируют краткосрочные колебания периодом 3–3,5 г. (циклы в товарных запасах); «второго порядка» – равновесие между рыночными ценами и ценами производства в долгосрочном периоде на базе имеющегося запаса основных капитальных благ; при этом отклонения цен равновесия спроса и предложения от уровня цен производства благоприятны для отраслей хозяйства, в которых производство будет увеличиваться (с коротким производственным циклом), и неблагоприятны для других; «третьего порядка», представляющее собой равновесие в более длительном периоде на базе изменившихся основных капитальных благ (промышленные здания, инфраструктурные сооружения, железнодорожные линии). По мнению Н. Д. Кондратьева, «большие циклы конъюнктуры представляют собой процессы отклонений реального уровня элементов капиталистической системы от уровня равновесия (третьего, может быть, более высокого порядка) этой системы, процессы, в течение которых сам уровень равновесия меняется» [6]. В развитии больших циклов он выделил [7] четыре «эмпирические правильности» – закономерности в изменении экономических показателей. Две из них относятся к повышательным фазам, одна к стадии спада и еще одна закономерность проявляется на каждой из фаз цикла. Первая – перед началом повышательной волны каждого большого цикла, а иногда и в самом ее начале наблюдаются значительные перемены в условиях хозяйственной жизни общества, связанные с изменениями технологии производства, обмена, условий денежного обращения. Этим изменениям предшествуют значительные научно-технические изобретения и нововведения. В повышательной фазе первой волны это были развитие текстильной промышленности и производство чугуна, изменившие экономические и социальные условия жизни общества, а также момент расширения влияния США на мировом рынке. В повышательной фазе второй волны – строительство железных дорог, которое позволило освоить новые территории и преобразовать сельское хозяйство. Повышательная стадия третьей волны вызвана широким внедрением электричества, радио и телефона, а также с выходом на мировую арену таких стран, как Австралия, Аргентина, Чили и др. Перспективы нового подъема Н. Д. Кондратьев видел в развитии автомобильной промышленности. Вторая закономерность – в периоды повышательных волн, как правило, происходит гораздо больше политических и социальных потрясений, таких как военные действия, революции, государственные перевороты, чем в период понижательных. Отдельное внимание Н. Д. Кондратьев обращает на то, что он не пытается при этом установить причинно-следственную связь явлений или же причины больших циклов. Третья – понижательные волны оказывают особенно угнетающее влияние на сельское хозяйство и сопровождаются длительной его депрессией. Низкие цены на товары в период спада способствует росту относительной стоимости золота, что побуждает увеличивать добычу. Накопление золота в итоге приводит к росту экономики, содействует выходу экономики из затяжного кризиса. Четвертая – большой цикл состоит из средних циклов продолжительностью от 7 до 11 лет, которые попадают под влияние больших циклов. Периодические кризисы (7–11-летнего цикла) как бы нанизываются на соответствующие фазы длиной волны и изменяют свою динамику в зависимости от нее. В периоды длительного подъема больше времени приходится на процветание, а в периоды длительного спада учащаются кризисные годы.

Статистический анализ временных рядов и выделение данных эмпирических закономерностей привели Н. Д. Кондратьева к обоснованию теории эндогенного характера длинных волн (изначально присущих причин их возникновения капиталистической экономике). Согласно этой теории ни одна из приведенных «эмпирических правильностей» не возникает случайно. Изменение технологии вызвано «потертостями» производства, созданием таких условий, при которых применение изобретений становится возможным и необходимым. Войны и революции являются следствием создавшейся экономической, социальной и политической обстановки. Потребности в освоении новых территорий и миграции населения – также результат подобных обстоятельств. Таким образом, отмеченные явления играют роль не случайных «толчков», порождающих очередной цикл, а являются частью присущего капитализму механизма, обеспечивающего его волнообразное развитие. Каждая последовательная фаза есть результат процессов, накапливаемых в ходе предшествующей фазы.

Николаю Дмитриевичу Кондратьеву принадлежит заслуга разработки первой целостной системной теории полувековых циклов в экономическом развитии. Теория длинных волн (кондратьевских циклов) акцентирует внимание на изучении лишь одного типа циклической динамики долгосрочных квазипериодических колебаний социально-экономического, научно-технического развития и является не единственной попыткой объяснения закономерностей в развитии экономики. Наряду с кондратьевскими известны конъюнктурные циклы меньшей продолжительности, носящие имена ученых XIX–XX вв., впервые их зафиксировавших или внесших значительный вклад в их эмпирическое исследование. Среди них краткосрочные от 3-х до 4-х лет – циклы Джозефа Китчина («циклы запасов»), возникающие вследствие неизбежной при рыночном хозяйстве неравномерности инвестиций в сырье, материалы и товарный капитал.

Американский экономист Джозеф Китчин (1861–1932) по итогам исследования ежемесячных статистических данных оборота безналичных расчетов между банками, товарным ценам и краткосрочной ставке процента в США и Великобритании за период с 1890 по 1922 гг. выя-

вил существование краткосрочных экономических циклов, продолжительностью около 3–4 лет [8]. В настоящее время краткосрочные циклы принято называть циклами Джозефа Китчина, посвятившего этой проблеме свою работу в 1923 г. Джозеф Китчин связывал продолжительность цикла, которую он принимал равной трем годам и четырем месяцам, с колебаниями мировых запасов золота. Однако подобное объяснение причин краткосрочного цикла не может являться объективным доказательством.

Экономической науке известны среднесрочные интерциклы Лабруса от 7 до 11 лет.

Р. Камероном были обоснованы, а впоследствии Г. Эмбером, Ф. Броделем и другими экономистами и историками исследованы более длительные волны экономической конъюнктуры, укладывающиеся в периоды от 150 до 300 лет. Такие сверхдолгие циклы, динамика которых описывается Р. Камероном с помощью логистической кривой, получили название вековых трендов.

Инновационная теория циклов была разработана австрийским ученым Йозефом Шумпетером, предпринявшим попытку выявить движущие силы экономической динамики. Он представил [9] экономическое развитие как циклический процесс структурных изменений, возникающих внутри экономики. Согласно гипотезе основным фактором этого процесса служит инновационная деятельность предпринимателя. Йозеф Шумпетер включал в понятие инновации, помимо собственно технических нововведений, также организационные, управленческие и маркетинговые инновации, новые рынки, новые источники снабжения, финансовые нововведения и новые сочетания ресурсов, но при этом отделял изобретения от инноваций, мотивируя это тем, что существует различие между запатентованной идеей продукта или новой технологии, и внедрением этой идеи в коммерческое производство. Й. Шумпетер определял предпринимательскую деятельность как способность продвижения инноваций на рынок посредством рискового бизнеса. Предприниматель, по Й. Шумпетеру, отнюдь не то же самое, что и капиталист: предпринимательская деятельность является новаторской по своему определению и в силу данного обстоятельства служит постоянным источником конкурентной реструктуризации экономики и экономического роста. Рынок нужно представлять как эволюционный процесс непрерывно сменяющих друг друга волн инноваций, который он называл процессом созидательного разрушения. По его мнению, успех рыночной системы заключается не в эффективном достижении статического оптимального равновесия, а в способности осуществлять динамические изменения в технологии и достигать динамического роста посредством таких изменений. Шумпетер выдвинул гипотезу, что превращение изобретений и новых знаний в инновации является результатом деятельности небольшого числа исключительно одаренных предпринимателей с выдающимися интеллектом и деловой энергией.

Следует подчеркнуть идею Й. Шумпетера [2] о цикличной схеме колебательных процессов в экономике, осуществляющихся как бы на трех уровнях, как наиболее подходящую для описания многих экономических явлений. Шумпетер назвал эти уровни (циклы) именами Н. Д. Кондратьева, К. Жугляра и Дж. Китчина – открывших их ученых. Он считал, что в экономической системе проявляется взаимосвязь и взаимозависимость всех трех циклов. После выхода в свет книг Й. Шумпетера «Теория экономического развития» и «Циклы деловой активности» инновационная теория была подвергнута серьезной критике, на некоторые замечания он не смог дать адекватные ответы. В частности, С. Кузнец писал [10; 11], что Й. Шумпетер практически не обсуждает условия возникновения инноваций и не объясняет, почему равномерный и непрерывный приток нововведений трансформируется в циклический процесс экономической динамики.

Нельзя не сказать о вкладе в разработку теории цикличности К. Маркса (1818–1883), исследовавшего короткие циклы, которые получили название периодических циклов, или кризисов перепроизводства. По мнению К. Маркса, конечной причиной всех действительных кризисов всегда остается бедность и ограниченность потребления масс, противодействующая стремлению капиталистического производства развивать производительные силы, таким образом, как если бы границей их развития была лишь абсолютная потребительная способность общества. Раньше всех К. Марксом выявлен промышленный цикл протяженностью 7–12 лет. В этом цикле К. Маркс выделял четыре фазы, последовательно сменяющие друг друга: кризис, депрессия, оживление, подъем.

Русский ученый и политический деятель А. Л. Гельфанд (Парвус), описал закономерности в развитии капиталистической экономики в работе «Мировой рынок и сельскохозяйственный кризис» (Санкт-Петербург, 1897 г.).

В 1913 г. голландский экономист Ван Гельдерен разработал теорию волнообразного эволюционного движения при капитализме [8].

Помимо Й. Шумпетера к последователям инновационного направления в теории длинных волн относят таких ученых, как Саймон Кузнец [11; 12], Герхард Менш [12], Альфред Клайнкнехт [13], Якоб Ван Дайн [14].

В середине 70-х гг XX в. в Массачусетском технологическом университете под руководством профессора Дж. Форрестера разработана теория перенакопления [15]. На основании проведенного опроса среди бизнесменов, финансистов, политических деятелей сформирована математическая модель, анализ которой позволил сделать следующие выводы: за большие циклы отвечают процессы, происходящие в отраслях, выпускающих средства производства; если представить, что конечный продукт экономики состоит из двух секторов: создания средств производства и выпуска потребительских товаров, – то капитальный сектор, производящий средства производства, обеспечивает машинами и оборудованием не только отрасли, выпускающие потребительские товары, но и самого себя; рост потребления вызывает еще более быстрое увеличение потребности в средствах производства; рост капитала в условиях постоянного спроса ускоряется дополнительными обстоятельствами: спекуляцией, переоценкой спроса, изменением реального процента по кредитам, срывом поставок, «пирамидальной платежной структурой», эти факторы способствуют перенакоплению в капитальном секторе; заказы сначала резко растут, а потом резко сокращаются.

По мнению Дж. Форрестера, в 70-х гг. прошлого столетия имел место переизбыток в секторе средств производства.

В 1970–1984 гг. группой ученых, под руководством Кристофера Фримена, предложена теория длинных волн [16], согласно которой изменение уровня занятости населения выступает как следствие общего состояния экономики и играет активную роль как фактор, определяющий экономическую активность: на ранних стадиях применения новых технологий спрос на рабочую силу носит ограниченный или интенсивный характер в силу того, что объемы нового производства невелики и требуется не массовая, а особо квалифицированная, уникальная рабочая сила; при увеличении объемов производства, акцент переносится на капиталосберегающую технику, растет спрос как на рабочую силу, так и на соответствующие товары и продолжает расти до насыщения; параллельно увеличиваются заработная плата и издержки; возникает необходимость в трудосберегающих инновациях; в результате их внедрения – отлив рабочей силы; снижение доходов и общего спроса, т. е. спад в экономике.

Теории Дж. Форрестера и К. Фримена имеют много общего с теорией мультипликатора-акселератора, разработанной П. Самуэльсоном [5] и Дж. Р Хиксом [15]. По их мнению, увеличение инвестиций приводит к многократному увеличению реального национального дохода. При этом инвестиции стимулируются оживлением текущей экономической конъюнктуры, измеряемой все тем же национальным доходом. В итоге взаимного влияния реальный национальный доход и совокупные инвестиции оказываются функциями друг от друга. На основании этого положения, построена модель циклических колебаний деловой активности, переменные которой имели свои границы: верхней границей явился национальный доход, обеспечивающий полную занятость (т. е. производственный потенциал), а нижней – объем инвестиций, соответствующий амортизации основного капитала.

Существенный вклад в развитие теории мультипликатора-акселератора внес Николас Кальдор [18]. По его убеждению, теория эндогенного бизнес-цикла должна быть основана на нелинейности инвестиционной функции; циклы, имеющие место в реальности, не являются чисто эндогенными; рост активности предпринимателей может вызвать кумулятивный подъем инвестиций, который бы периодически сталкивался с экзогенными барьерами, такими как полная занятость.

Польский экономист Михал Калецкий также работал над теорией бизнес-циклов. В своих работах [18] М. Калецкий рассматривал различные модели бизнес-циклов: линейную (1935), нелинейную (1937, 1939) и линейную с влиянием экзогенного шока.

Важную роль в развитии теории цикличности сыграл У. У. Ростоу [13], предположив, что изменения в спросе и предложении сырья и пищевых продуктов, и, соответственно, цен на них сказываются на инновационной активности, которая, в свою очередь, определяет последовательность лидирующих отраслей и сама зависит от них; большое значение имеют демографические факторы, жилищное строительство, структура рабочей силы. Ростоу в теории длинных волн выделил три направления: аграрно-ценовое, инновационно-инвестиционное и демографическое, анализировал длинные волны Н. Д. Кондратьева, стремясь проследить взаимосвязь трех выделенных им направлений в каждом из циклов [20].

Российский экономист В. Г. Клинов, рассматривая длинные волны Н. Д. Кондратьева, пришел к выводу о тесной взаимосвязи циклов конъюнктуры и научно-технического прогресса. По мнению В. Г. Клинова [21], колебания темпов экономического развития в рамках полувековых циклов, связаны с волновой природой прогресса в науке и технике; волновая природа научно-технического прогресса обусловлена следующими факторами: чередованием периодов чистого накопления; периодической сменой технологической и конструкторской фаз научно-технического прогресса; сменой периодов замедления и ускорения роста инфраструктуры.

Пол Самуэльсон и Вильям Нордхаус в своей книге [5] определили экономический цикл как характерную черту почти всех областей экономической жизни и для всех стран с рыночной экономикой, полагая, что именно цикличностью характеризуется развитие всех промышленно развитых стран: через спады и подъемы они неизбежно идут одним путем почти два столетия, по крайней мере, с этапа, когда общество относительно натурального хозяйства начало переходить на более высокий уровень, основанный на тесной взаимозависимости всех звеньев развитой денежной экономики.

Колебательная экономическая динамика наблюдается уже в течение почти 200 лет. Первые экономические кризисы датируются 1825 г. в Англии и 1840 г. в Германии.

Теории циклов, не признанные российской наукой в условиях плановой экономики, до настоящего времени не получили широкого признания. Однако 2000 г. на XI Междисциплинарной дискуссии «Прогнозирование циклов и кризисов» именно по Кондратьеву было определено время, место и ядро экономического кризиса начала XXI в. и дальнейшего перехода к спадающей волне. Экономический кризис последних двух лет позволил по-новому взглянуть на теории циклического развития экономики как отечественных, так и зарубежных экономистов. Исследователь Х. Макрей убежден: «Существует такое явление, как глобальные экономические циклы, и никто не в силах избежать их. Их продолжительность может несколько отличаться у разных стран. Текущая фаза роста, в которой находится экономика в настоящий момент, длится от шести до семи лет, а значит, уже близка к своему завершению. Мы не до конца понимаем, почему существуют эти циклы. Нам также неизвестен способ смягчения их влияния». По мнению Д. Сороса, периодические кризисы были частью большого подъема деловой активности. Сегодняшний спад представляет собой кульминацию супербума, который продолжался в течение 60 лет.

По мнению В. Пантина, грядущая волна великих потрясений сопоставима с ситуацией 1920–1930 гг. (Великая депрессия, европейский кризис после Первой мировой). При этом полного повторения циклов не может быть. Как отмечает Р. Энтов, сегодня проблема циклов и кризисов, по-видимому, никак не может считаться окончательно ушедшей в прошлое и уступившей место устойчивому и сбалансированному экономическому росту. По мнению

В. Кузьменко, существует гипотеза, о тенденции к сокращению циклов Кондратьева по мере ускорения научно-технического прогресса. Однако вряд ли она отвечает действительности, поскольку выбор границ циклов довольно условен. Н. Д. Кондратьев и его последователи подчеркивали, что в циклической динамике экономики, закономерности носят вероятностный характер. По одним показателям, а также странам, регионам, большие циклы прослеживаются отчетливее, по другим – хуже. Многое в анализе длинных волн зависит от выбранной системы индикаторов, на которые накладываются глобальные исторические пульсации и тренды. Если тенденция к сжатию длинных циклов сохранится, то кризис и окончание пятого цикла, действительно, произойдут не далее 2014/2015 гг. Вопрос, почему происходит сжатие циклов, на наш взгляд, не имеет на сегодняшний день однозначного ответа. Можно предположить, что причины лежат в сфере денежного обращения, а именно в увеличении скорости обращения денег.

Формирование экономического курса государства предполагает анализ информации о прошлом, текущем и прогнозном состоянии социально-экономических систем общественного развития. Для получения такой информации необходимо всестороннее изучение динамических характеристик, которые отражают влияние различных факторов и являются следствием проявления разнообразных тенденций. Мировая экономика проходит стадии подъемов и спадов, которые определяют общие закономерности ее развития: движение происходит по спирали, неравномерно, является результатом взаимодействия различных циклических и нециклических экономических процессов. Основная характерная черта циклов, в том числе и экономических, заключается в повторяемости состояний через определенный период времени. Изучение сущности теорий цикличности функционирования мировой экономики в историческом плане, установление взаимосвязи между ними позволит раскрыть механизм функционирования отдельных циклов с целью создания объективных прогнозов российской экономики и проведения на современном этапе более эффективной макроэкономической политики.

Библиографические ссылки

1. Juglar C. Des Crises commerciales et leur retour periodique en France, en Angleterre, et aux Etats-Unis. Paris : Guillaumin et Cie, 1889.

2. Schumpeter J. A. History of Economic Analysis. London : Routledge, 1994.

3. Burns A. F., Mitchell W. C. Measuring business cycles. New York : National Bureau of Economic Research, 1946.

4. Туган-Барановский М. И. Периодические промышленные кризисы. М. : Директмедиа Паблишинг, 2008.

5. Самуэльсон П. Э., Нордхаус Д. Экономика : учеб. пособие : пер. с англ. 16-е изд. М. : Вильямс, 2000.

6. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М. : Экономика, 2002.

7. История экономических кризисов, начало XX века / / Admin. 2009. 8 окт.

8. Kitchin J. Cycles and Trends in Economic Factors // Review of Economic Statistics. 1923. № 5. P. 10–16.

9. Шумпетер Й. Теория экономического развития: Исследование предпринимательской прибыли, капитала, кредита, процента и цикла конъюнктуры. М. : Прогресс, 1982.

10. Kuznets S. Schumpeter's Business Cycles // American Economic Review. 30. 1940. № 2.

11. Kuznets S. Equilibrium Economics and Business Cycle Theory. 1930.

12. Mensch G. Das technologische Patt: Jnnovationnen ubervinden die Depression. Frankfurt-am-Main : Umschau Ferlag, 1975.

13. Rostov W. W. Why the Poor Get Richer and the Rich Slow Down: Essays in the Marshallian long period. 1980.

14. Van Duijn J. J. The long wave in economic life. London : Allen & Unwin, 1983.

15. Форрестор Дж. Мировая динамика. М. : Наука, 1978.

16. Freeman C. Long wave theor. Cheltenham : Edward Elgar, 1996.

17. Hicks J. R. Harrod's Dynamic Theory // Economica. 1949. Vol. 16.

18. Kaldor N. Collected Economic Essays. London, 1960–1980.

19. Kalecki M. Selected Essays on the Dynamics of the Capitalist Economy. 1933–1970, 1971.

20. Rostov W. W. Kondratyev, Schumpeter and Kuznets: Trend Periods Revisited // Journal of Economic History. 1975. Dec.

21. Клинов В. Г. Научно-технический прогресс и большие циклы конъюнктуры мирового хозяйства // Проблемы прогнозирования. 2003. № 1.

V. A. Ivannikov

GENEZIS OF WORLD ECONOMICS CYCLICALITY THEORY

The article presents examination of the historical aspect of formation of science about cyclic development of world economics. The basic statements of economic business cycles are examined from the modern position.

Keywords: cyclicality theory, business cycle, crises faze, crises of economics.

© Иванников В. А., 2010

УДК 06.03; 06.52

С. А. Грош

ЭВОЛЮЦИЯ ИПОТЕЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

Рассматриваются ипотечные отношения на различных этапах социально-экономического развития общества с момента их зарождения и до настоящего времени. Предлагаются мероприятия по оживлению и дальнейшему развитию ипотечных отношений в условиях глобального финансово-экономического кризиса.

Ключевые слова: залог, ипотека, ипотечные отношения.

В России чрезвычайно острой является жилищная проблема. Большое количество семей проживают в ветхих и аварийных домах и нуждаются в улучшении жилищных условий. Как известно, лишь небольшая часть населения любой страны, в том числе и России, может позволить себе купить квартиру сразу из текущих доходов без помощи сбережений и заемных средств.

Одним из вариантов разрешения квартирного вопроса является получение банковского ипотечного кредита на приобретение жилья.

В современном праве термин «ипотека» употребляется для обозначения формы залога с оставлением предмета залога у залогодержателя независимо от того, движимое или недвижимое имущество является предметом залога. А также для обозначения особого вещного права на движимое и недвижимое имущество, позволяющего обеспечить требования кредитора путем распоряжения объектом ипотеки.

Возникновение и развитие залогового права было обусловлено состоянием складывающихся в обществе экономических отношений. На первых этапах формирования правовых отношений обеспечительную функцию выполняло поручительство. Но так как оно не всегда было эффективным, то постепенно возникла необходимость наряду с личным поручительством применять вещное. Это выражалось в форме залога, в силу которого кредитор имел преимущественное право на обращение взыскания на заложенное имущество с целью удовлетворения своего требования преимущественно перед другим кредитором.

Наиболее распространенной с древних времен из всех форм залога была ипотека. Термин «ипотека» греческого происхождения, он появился в VI в. до н. э. и означал обеспечение ответственности должника кредитору его земельным участком. Его ввел архонт Солон в VI в. до н. э. Для перевода личной ответственности в имущественную Солон предложил ставить на имении должника (обычно на пограничной меже) столб с надписью, что эта земля служит обеспечением претензий на определенную сумму.

Развитие институт ипотеки получил в классическом римском праве. Причем заложенное недвижимое имущество, согласно Институциям Гая, оставалось во владении должника. Институции являются важнейшим источником познания римского права периода, приходящегося на I–II вв. н. э. Сказанное в полной мере относится и к залоговому праву. Именно к этому времени оно сформировалось как право кредитора на чужую вещь, заключающееся в том, что в случае неудовлетворения по обязательству ему предоставляется правомочие истребовать заложенную вещь от любого его обладателя, продать ее и из вырученной суммы получить удовлетворение.

Ипотечные банки впервые появились в Германии в XVIII в. Первый ипотечный банк был основан в Силезии в 1770 г. Это был государственный банк, оказывающий финансовую помощь крупным помещичьим хозяйствам. Для привлечения средств банк стал выпускать закладные (разновидность ипотечных облигаций). С начала XIX в. деятельность ипотечного банка распространилась на мелкие помещичьи владения, а затем и на крестьянские хозяйства.

Русский залог прошел во многом уникальный путь развития. Первые дошедшие до нас акты о залоге относятся к XIII–XIV вв. Первые же законодательные нормы о залоге появляются в Псковской судной грамоте (конец XIV – начало XV в.).

Работа Д. И. Мейера «Древнее русское право залога» явилась первым значительным трудом, посвященным развитию института залога в русском праве. Говоря о сущности залога, Д. И. Мейер писал, что «залог есть отчуждение; переставая быть им, он перестает быть и залогом» [1]. Он считал, что до начала XVIII в. залоговая сделка в Московском государстве всегда устанавливала право собственности в пользу залогодержателя, который получал не только владение и пользование, но и возможность распоряжаться заложенной вещью. Эта собственность, по мнению Д. И. Мейера, вытекает из самой передачи обеспечительного объекта, без которой нет настоящего залога.

Критикуя теорию Д. И. Мейера, Л. А. Кассо выработал свой подход к сущности древнерусского залога. Он считал характерным окончательное и бесповоротное приобретение права на вещь залогодержателем в случае неуплаты со стороны залогодателя. По его мнению, сама залоговая сделка заключается с целью устранить личность должника от всякой ответственности. При этом заложенная вещь считается безусловным эквивалентом за полученные деньги.

Ипотечные отношения в России стали формироваться в XIII–XIV вв.

В конце XVI – начале XVII вв. в России разразился экономический кризис, последствия которого сказались и на развитии ипотечных отношений. Удорожание кредита неминуемо повлекло за собой унифицирование способа обращения взыскания. Соборное уложение 1649 г. предусматривает безусловный переход заложенного имущества в собственность кредитора (ст. 196, гл. X). Присвоение имущества залогодержателем в случае просрочки можно рассматривать как характерное явление русского залогового права периода XVII в.

Первые банки, выдававшие долгосрочные кредиты под залог недвижимости, появились в России в 50-х гг. XVIII столетия. Ими стали государственные дворянские банки, которые функционировали следующим образом. Помещик, нуждавшийся в деньгах, обращался в банк с просьбой предоставить ему кредит под залог имения. Стоимость недвижимости вместе с крепостными душами оценивалась специальными комиссиями, и Банк выдавал ссуды на 15, 28 лет или 33 года. Чаще всего кредит составлял 60–70 % стоимости имущества.

Первый такой банк был учрежден в 1754 г. с отделениями в Петербурге и Москве. В 1786 г. Банк для дворянства был реорганизован в Государственный заемный банк, который принимал вклады и выдавал долгосрочные ссуды под залог помещичьих земель и горнозаводских имений, фабричных строений и каменных домов в Петербурге. В 1802 г. к нему был присоединен Вспомогательный банк для дворянства. Часть средств банка направлялась на финансирование правительства.

Во второй половине XVIII в. государство начало выступать залоговым кредитором. Появились монетные конторы, кредитующие под залог предметов и слитков из драгоценных металлов. Государственному заемному банку и Вспомогательному банку для дворян, была вменена в обязанность продажа просроченного залога.

Роль дворянских банков играли также сохранные казны, созданные в 1772 г. при опекунских советах в Петербурге и Москве, и Приказы общественного призрения. В 1859 г. система казенных кредитных учреждений, а вместе с ней и дореформенные государственные дворянские банки были ликвидированы.

В дореволюционной России становление ипотечного кредита было связано с реформой 1861 г., когда дворяне, сохранив права на недвижимость, оказались без достаточного количества наличных средств. Впоследствии и другие категории населения начали брать кредит под залог недвижимости.

После реформы 1861 г. старые кредитные учреждения были упразднены, и чуть позже возникли новые ипотечные учреждения, – дворянские банки, выдававшие долгосрочные кредиты под залог помещичьих имений, исходя из цены земельного участка.

В России это были Государственный крестьянский поземельный банк (основанный в 1882 г.), который выдавал денежные ссуды крестьянам для покупки помещичьей земли. Как правило, это были долгосрочные ссуды на срок до 35 лет, и объем последних составлял до 75 % от стоимости приобретаемого имущества, при достаточно высокой процентной ставке 7,5–8,5 % годовых. Сразу стоит оговориться, что в 1896 г. условия кредитования были существенно улучшены, размер ссуды вырос до 100 % стоимости приобретаемой земли, а ставка снизилась до 3,5–4,5 % годовых.

Государственный дворянский земельный банк (основанный в 1885 г.) в свою очередь поддерживал «помещичье» землевладение путем выдачи дворянам ипотечных ссуд на льготных условиях в размере до 100 % оценочной стоимости недвижимого имущества и сроком до 66 лет под 5 % годовых и предоставлял помещикам отсрочки платежей без взимания процентов.

Таким образом, можно сделать вывод, что система ипотечных отношений в Российской империи была дифференцирована в зависимости от класса, к которому принадлежит залогодатель. При этом высшие сословия находились в более привилегированном положении (в данном случае учитывается объем выдаваемой ссуды по отношению к стоимости недвижимого имущества, передающегося в залог, а также размер годовой процентной ставки).

Кроме государственных в России действовали и местные дворянские банки. Система дворянских банков просуществовала до середины XIX в., когда Александр II запретил выдачу государственных кредитов и ликвидировал разорившиеся дворянские банки.

Тем не менее, ипотечные отношения в России продолжали развиваться. Вскоре появились новые кредитные учреждения – городские Кредитные общества и Земельные банки. Они выдавали кредиты под залог недвижимости не деньгами, а ценными бумагами, обеспеченными закладываемой недвижимостью.

Собственники недвижимости объединялись в товарищество, внося в виде пая собственные доходные дома. Затем выпускались ценные бумаги общества, подтвержденные имеющейся недвижимостью. Кредитные товарищества добились права конвертировать свои ценные бумаги в государственные обязательства (облигации).

К концу 1880-х гг. сложилась система ипотечных отношений, просуществовавшая до 1917 г. Названная система состояла из государственных, частных, кооперативных учреждений и функционировала при участии и под контролем государства, главным образом в лице Особенной канцелярии по кредитной части Министерства финансов.

К началу Первой мировой войны основополагающие нормы о залоге были включены в Свод законов Российской империи (т. X, ч. I). В начале XX в. Россия имела широкую сеть ипотечных банков. Сформировался прогрессивный вторичный рынок ценных бумаг, обеспеченных закладными на недвижимое имущество.

Дальнейшему развитию ипотечных отношений помешала революция, национализация земли и ликвидация частной собственности. Революция 1917 г. изменила государственный строй России. Первыми шагами советской власти в жилищной сфере после революции 1917 г. были отмена частной собственности на землю и крупного частного домовладения в городах, уплотнение семей буржуазии. Новая система жилищного финансирования заключалась в централизованном распределении бюджетных средств для строительства государственного жилья и в его безвозмездном распределении среди граждан, состоявших на учете по улучшению жилищных условий.

Гражданский кодекс 1922 г. вообще упразднил деление имущества на движимое и недвижимое, и ипотека прекратила свое существование почти на 80 лет. Хотя именно ипотечное кредитование является тем экономическим механизмом, посредствам которого государство может эффективно решать многие проблемы, и в первую очередь жилищную.

С 1958 г. стала развиваться жилищно-строительная кооперация с фиксированными и чрезвычайно выгодными по сегодняшним меркам процентным ставкам по

кредиту от 0,5 до 2 % в год, длительными (10–25 лет) сроками кредитования и значительной предельной долей кредита (60–80 % от стоимости жилья). Указанные процентные ставки просуществовали до 1991 г. Они были на 1 % выше официального уровня инфляции, но ниже банковской ставки по вкладам сроком до одного года [2].

В 1993 г. была создана Ассоциация ипотечных банков, учредителями которой выступили 16 фирм, девять из них – ипотечные банки. Цель Ассоциации – лоббирование, поддержка законов об ипотеке, преференции банков, которые занимаются ипотечным кредитованием.

В изменившихся условиях государство попыталось определить свою жилищную политику. На свет появилась правительственная программа на 1993–1995 гг., названная коротко и ясно – «Жилище». Отношения собственности в сфере жилищного строительства изменились до неузнаваемости, источники финансирования тоже. Дома стали строить преимущественно на коммерческой основе, а механизмов, которые сделали бы жилье доступным не только для «новых русских», не появилось.

В 1996 г. Указом Президента РФ была принята федеральная целевая программа «Свой дом», в которой была предусмотрена разработка механизма долгосрочного кредитования застройщиков на срок от 10 до 25 лет. В Постановлении Правительства РФ «О федеральной целевой программе „Свой дом“» от 27 июня 1996 г. № 753 целью Программы было названо создание организационных, финансовых и правовых предпосылок для обеспечения доступным жильем граждан с привлечением их средств и долгосрочных банковских кредитов. Правительство постановило утвердить федеральную целевую программу «Свой дом» как составную часть нового этапа государственной целевой программы «Жилище», а Министерству строительства – внести предложения о выделении финансовых ресурсов для долгосрочного жилищного кредитования населения.

В 1997 г. в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 августа 1996 г. № 1010 «Об Агентстве по ипотечному жилищному кредитованию» было создано ОАО «Агентство по ипотечному жилищному кредитованию». Государству принадлежит 100 % акций АИЖК. Задачи Агентства: создание единых стандартов ипотечного жилищного кредитования; обеспечение доступности ипотечных кредитов для широких слоев населения на всей территории России; создание возможности рефинансирования для ипотечных кредитов; создание вторичного рынка для обязательств, обеспеченных ипотекой; формирование рынка ипотечных ценных бумаг [3].

Деятельность Агентства через развитие сети региональных операторов должна была в ближайшие годы охватить все регионы России, обеспечив, таким образом, возможность рационального перераспределения привлекаемых инвестиционных ресурсов и становления единого российского рынка ипотечного кредитования.

В развитие федеральной целевой программы «Свой дом» Постановлением Правительства РФ № 28 в 2000 г. была утверждена Концепция развития системы ипотечного жилищного кредитования в Российской Федерации, которая определила место и роль ипотечного жилищного кредитования в жилищном финансировании, а также стратегию государства в становлении и развитии данной сферы.

После утверждения Правительством РФ данной Концепции развития системы ипотечного жилищного кредитования в Российской Федерации Госстрой России стал проводить целенаправленную работу по формированию в субъектах Российской Федерации структур, обеспечивающих реализацию принимаемых региональных программ ипотечного жилищного кредитования.

В 1998 г. с принятием закона «Об ипотеке» начался новый этап становления ипотечных отношений в России. С этого момента все операции по кредитованию под залог недвижимости стали регулироваться именно этим законом, который значительно расширил возможность использования ипотеки в качестве надежного средства обеспечения кредита. В десятках регионов и городов России начали разрабатываться ипотечные программы и создаваться структуры для их реализации.

Одновременно с названной Концепцией Постановлением Правительства РФ № 28 был утвержден план подготовки проектов нормативных актов, обеспечивающих развитие системы ипотечного жилищного кредитования, который в настоящее время в большей части реализован. Внесены соответствующие изменения в Жилищный кодекс, Гражданский кодекс, Налоговый кодекс, Законы РФ об ипотеке, о банкротстве. В 2001 г. принят Закон «О кредитных потребительских кооперативах граждан». В 2003 г. принят новый для российской правовой системы нормативный акт – Закон «Об ипотечных ценных бумагах»; в 2004 г. – Закон «О жилищных накопительных кооперативах», Закон «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости».

Важной составляющей в системе ипотечных отношений на современном этапе являются ссудно-сберегательные организации, которые стали появляться в России с 2001 г.: жилищные накопительные кооперативы, потребительские кооперативы граждан. Данные организации привлекательны населению тем, что заемщику не требуется подтверждать платежеспособность справкой о доходах, и денежные средства пайщику предоставляются по более низкому проценту, чем в банке. Хотя имеют ряд недостатков: очередность в получении ипотечного кредита; предоставление строго определенного вида недвижимости (т. е. у пайщика отсутствует возможность выбора недвижимости); правовая незащищенность вкладчиков. Как правило, в судно-сберегательные организации пользуются спросом со стороны населения с низкими и средними доходами.

Также в 2005–2006 гг. активно формировались ипотечные закрытые паевые инвестиционные фонды (ИЗПИФ). Особенность ипотечных паевых инвестиционных фондов заключается в том, что средства пайщиков инвестируются в ипотечные кредиты банков, которые продают права требования на кредиты управляющим компаниям (которые и занимаются формированием ипотечного паевого инвестиционного фонда). Возникновение ипотечных паевых фондов в некоторой степени решает проблему отсутствия у банков необходимых ресурсов для ипотечного кредитования.

С принятием законопроектов, регламентирующих ипотечные отношения, ипотека в России начала набирать обороты. Появились различного рода ипотечные программы, как на федеральном уровне, так и на региональном. Все больше ипотечных продуктов стали предлагать коммерческие банки. Росло число банков, предоставляющих ипотечные кредиты. В России начался настоящий ипотечный бум. В 2005 г. было оформлено 144 тыс. кредитов, а в 2006 г. – уже 296 тыс. [4].

Благоприятная мировая экономическая конъюнктура расширила возможности привлечения российскими банками относительно недорогих ресурсов с международных рынков, что позволило снизить процентные ставки по ипотечным кредитам в среднем до 9,5–12 % годовых [5]. Сроки кредитования выросли до 25–30 лет [5]. Размер первоначального взноса был существенно снижен, а некоторые банки, например, «ВТБ 24» предоставляли ипотечные кредиты вообще без первоначального взноса. В условиях жесткой конкуренции банки вынуждены были снижать свои требования к потенциальным заемщикам. Увеличилось число валют, в которых предоставлялись кредиты. По ипотеке можно было приобрести жилье как на вторичном, так и на первичном рынке.

На 1 января 2008 г. кредитными организациями, предоставляющими жилищные кредиты, рублевых ипотечных кредитов было выдано на сумму 524 045 млн руб., и на сумму 126 147 млн руб. – валютных [6].

Прогнозы развития российского ипотечного рынка были весьма оптимистичны. Но все изменилось в 2008 г. с наступлением глобального финансово-экономический кризиса, который не обошел и Россию.

Нынешняя сложная ситуация в мировой экономике, по мнению ряда аналитиков, является следствием наложения друг на друга сразу двух кризисов: в международных кредитно-денежных отношениях и экономическом секторе США [7].

Первый кризис заложен в нынешнем механизме международных кредитно-денежных отношений. Прежде всего, это возведение в статус «международных валютных резервов» денежной единицы одного государства (причем единицы, эмитируемой даже не государством, а просто сообществом частных банков – акционеров Федеральной резервной системы США). При этом США сняли с себя и со своих банков всякие обязательства на эмитируемые ими доллары. В итоге все страны – владельцы долларовых валютных резервов принуждены были иметь в обороте и использовать для погашения своих долгов неденежные (и нетоварные) долговые обязательства. И эти же страны стали помещать доллары на счета в тех же американских банках, которые эту валюту и эмитировали. Американские банки тотчас столкнулись с проблемой размещения этих лишних долларов. Банки США стали «раздавать» дешевые кредиты, в том числе и ипотечные практически без всякого контроля за заемщиками. И кроме того, американские банки и другие финансовые институты стали формировать международные «горячие» деньги. Они пошли кочевать по фондовым и валютным рынкам, раскачивая их и ввергая в постоянные подъемы и кризисы.

Второй кризис – это кризис в экономическом секторе США. Причина тому – конфликт интересов у ведущих операторов финансовых рынков и отсутствие действенного механизма их личной ответственности за свои действия. В нынешней ситуации валютные и фондовые биржи превратились в площадки, где люди играют на деньги. Но только в этом варианте азартных игр посредникам разрешено принимать участие наравне с их клиентами, что недопустимо. И при этом принимаемые законы или ограничения, как правило, не работают. В результате складывается следующая ситуация: банки и другие крупные спекулянты, которые в периоды надувания «пузырей» получают невероятные прибыли, а в периоды спада стремятся перенести на своих клиентов все потери.

Обвалы на биржах США привели к дестабилизации всех фондовых рынков планеты.

Говоря об отечественной экономике, мировой хозяйственный кризис в первую очередь коснулся банковского сектора. После цикла первых биржевых обвалов в январе-феврале 2008 г. российские банки начали всерьез ощущать недостаток платежных средств. Избыток свободных средств в мировой экономике сменился их острой нехваткой. Возможности внешнего кредитного поддержания российских компаний существенно сократились, открыв наличие внутренних экономических проблем. Дефицит платежных средств у банков оказался возможен благодаря увеличению трудностей с оплатой кредитов у должников, прежде всего относящихся к среднему классу. Рост цен в 2005–2007 гг. сочетался с расширением круга граждан, получающих зарплату от 300 до 800 евро, но практически не компенсировался ростом реальной оплаты труда. В результате расширение средних слоев почти не сопровождалось ростом их благосостояния. Практически двукратное ускорение инфляции в 2008 г. усилило негативную динамику, породив сбои в функционировании финансовых институтов.

В ходе зимнего кризиса ликвидности банки обнаружили, что средства быстро уходили, но медленно возвращались. Система начала терять эффективность. Большая доля кредитов приобрела черты невозвратных. При этом отечественные финансовые институты сами оставались должниками на мировом рынке. Вследствие паники из российских банков произошел отток иностранных капиталов, открывший недостаток собственных платежных средств. Ряд коммерческих банков закрыли ипотечные программы.

Для преодоления кризиса ликвидности правительство пошло на размещение в банках средств Пенсионного фонда. Выдача кредитов, в том числе ипотечных возобновилась, хотя условия их предоставления стали жестче: увеличены процентные ставки до 14–24 % годовых [8], увеличен размер первоначального взноса до 30 % [5], ужесточены требования к подтверждению размера дохода заемщика. При сложившейся ситуации ипотека доступна лишь малому числу россиян, даже не смотря на то, что произошло снижение цен на жилье во всех регионах России. Количество выдаваемых ипотечных кредитов резко сократилось. На 1 декабря 2009 г. ипотечных кредитов в рублях было выдано на сумму 140 453 млн руб., в валюте – на сумму лишь 9 524 млн руб. [6].

Причиной сокращения количества выдаваемых ипотечных кредитов явилось и снижение доходов населения,

а также рост безработицы в условиях глобального экономического кризиса. В совокупности с ростом ставок и снижением курса рубля снижение доходов населения и рост безработицы привели к росту просрочек по ипотечным кредитам. На 1 декабря 2009 г. просроченная задолженность составила 19 390 млн руб. по рублевым кредитам и 11 702 млн руб. – по валютным. (На 1 января 2009 г. просроченная задолженность составляла 6 142 млн руб. и 6 377 млн руб. соответственно) [6].

Таким образом, глобальный финансово-экономический кризис привел к торможению развития ипотечных отношений в России. Необходимо разработать стратегию развития ипотечного жилищного кредитования в Российской Федерации, где особое внимание должно быть обращено на повышение доступности ипотеки для граждан путем развития ипотечного страхования, формирования специальных ипотечных программ строительства и приобретения жилья экономического класса, стимулирования приобретения гражданами жилья, возводимого в рамках проектов комплексного освоения территорий. Также государству необходимо стимулировать развитие строительной отросли в стране, развивать малоэтажное домостроение и инфраструктуру в пригородах, регулировать ценовой сегмент рынка жилья. Банкам необходимо внедрять новые ипотечные продукты, что позволило бы оживить ипотечные отношения и сделать ипотеку более доступной для россиян.

Имеющаяся на сегодняшний день нормативная база не позволяет говорить о ее совершенстве. Так, закон об ипотечных ценных бумагах до настоящего времени не получил широкого практического применения и требует новых доработок. Помимо наличия закона, необходим налаженный механизм его применения. Процесс изменения законодательства не является в настоящее время завершенным, по мере проявления очередных пробелов появляется необходимость дополнительного внесения изменений в уже существующие нормативные акты и разработки новых законопроектов.

Лишь при этих условиях возможен существенный прорыв в совершенствовании заложенных в ипотеке экономических отношений и на этой основе радикальное решение жилищных проблем значительной части россиян.

Библиографические ссылки

1. Мейер Д. И. Древнее русское право залога. Казань, 1855.

2. Покопцева Е. Б., Никишина Т. И, Казейкин В. С. Как купить квартиру. Ипотека в России. М., 2004.

3. Об агенстве [Электронный ресурс] // Агенство по ипотечному жилищному кредитованию : офиц. сайт. URL: //www.ayml.ru./index.shtml.

4. Фролов Н. Е. Современное состояние ипотечного рынка: задачи, проблемы, перспективы // Деньги и кредит. 2007. № 8.

5. Рябчеко Л. И. Последние тенденции на рынке ипотечного кредитования // Финансы. Деньги. Инвестиции. 2000. № 4.

6. Показатели рынка (ипотечного жилищного) кредитования [Электронный ресурс] // Банк России : офиц. сайт. URL: http://www.cbr.ru/statistics/?Prtid = ipoteka.

7. Кашин В. А. Причины кризиса и меры по его преодолению // Банковское дело. 2009. № 2.

8. Логинов М. П. Антикризисное управление ипотечным кредитованием // Деньги и кредит. 2009. № 3.

S. A. Grosh

EVOLUTION OF MORTGAGE RELATIONS AT DIFFERENT STAGES OF SOCIAL-ECONOMIC DEVELOPMENT OF SOCIETY

The article considers mortgage relations at different stages of social-economic development of society since the moment of mortgage emergency till the present day. The author suggests the measures of revival and further development of mortgage relations in the context of global financial-economic crisis.

Keywords: security, mortgage, mortgage relations.

© Грош С. А., 2010

УДК 334.012.62/64

Н. В. Князева, А. В. Киселева, Т. А. Шиндина

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЫНКА НЕДВИЖИМОСТИ РЕГИОНА В ПОСТКРИЗИСНЫЙ ПЕРИОД

Рассмотрены проблемы развития строительного бизнеса в сложный посткризисный период. Показаны отличительные особенности рынка недвижимости и факторы, затрудняющие выполнение анализа, а также необходимость принятия решений на основе качественного маркетингового, экономического и экспертного исследований. Приведены некоторые критерии региональных отличий, которые необходимо учитывать для дальнейшего развития отрасли.

Ключевые слова: недвижимость, девелопмент, инвестиционно-строительная деятельность, развитие бизнеса.

В настоящее время практически невозможно строить достоверные прогнозы. Только одно уже можно сказать определенно – макроэкономический кризис пошел на спад, и весь 2010, а за ним и 2011 г. пройдет под знаком посткризисного периода. Но главное для нашей экономики в целом и для отдельных ее представителей в частности – вовремя понять, что сразу после стагнации наступит резкий рост, а к нему важно успеть подготовиться.

Предприниматели посткризисного периода вынуждены все делать на ощупь, путем проб и ошибок. Если говорить об отраслях, где производственный цикл составляет несколько дней и не требует серьезных инвестиционных вливаний, пробных «шагов» можно сделать достаточно много. А что делать строителям? Строить на свой страх и риск и раньше было рискованно, а сегодня вообще может привести к банкротству предприятия – экономический кризис вкупе с введением на рынке саморегулирующих организаций привели к резкому уменьшению финансовых резервов в строительных компаниях. И снова в этой ситуации в выигрыше будут только федеральные игроки – они уже научились считать деньги и строить только там и только то, что действительно экономически целесообразно.

Строительство – одна из наиболее старых отраслей мировой экономики. Готовая продукция, полученная в результате производственного процесса, оценивается в миллионы рублей и подлежит обязательной государственной регистрации. Принимая во внимание только эти данные, становится понятно, что для реализации даже небольшого строительного проекта необходим подробный бизнес-план. Что же до кризиса происходило на самом деле?

Бизнес-планы, и при этом совсем простые, составлялись строителями только в случае получения банковского кредита. Ни о каких других предынвестиционных исследованиях не могло быть и речи – зачем, если компания и так получает прибыль?

В результате, еще до 2008 г. местные застройщики проигрывали московским девелоперам как в плане прибыли (хотя затраты на приобретение земельного участка в их случае отличались на порядок), так и качественно. Так, например, г. Челябинск постепенно обзавелся отдельно стоящими ТРК и бизнес-центрами, рядом с объектами недвижимости эконом-класса построены элитные жилые дома – общая концепция города на сегодняшний день разрозненна и, несмотря на высокие темпы строительства в последние 10 лет, областной центр остался провинцией с ее мрачным жилым фондом и практически полным отсутствием современной архитектуры.

Однако время сверхприбылей закончено. Как следствие, должен закончиться и период бездумного строительства.

Поднятый вопрос важен по следующим причинам:

– в ситуации резкого спада производства и дефицита финансовых ресурсов строительные компании больше не могут надеяться на «авось» – это грозит банкротством застройщика;

– развитие местных строительных компаний, использование в их работе маркетингового фактора увеличит прибыль и самих строителей, и города в целом;

– создание цивилизованного строительного рынка постепенно скажется на формировании современного архитектурного стиля города, повышении имиджа региона.

Что же поможет возродить строительный бизнес и даже перевести его на более цивилизованный уровень? По нашему мнению, эту задачу сможет решить развитие инвестиционного маркетинга недвижимости (маркетинговых исследований) в строительном бизнесе.

При многообразии существующих объектов коммерческой недвижимости возник следующий вопрос: «Какие исследования необходимы для новых проектов, по какой цене, в какой стадии детализации и с чьим участием стоит их проводить?»

Для того чтобы проект стал максимально эффективен, необходимо, чтобы идея развития определенной территории была подтверждена маркетинговыми, экономическими, экспертными исследованиями на основе допустимого и разрешенного, а также физически осуществимого использования территории.

Правильно разработанная концепция развития объекта недвижимости играет ключевую роль в дальнейшей успешности проекта. Только в этом случае при вложении средств в проекты развития инвесторы могут рассчитывать, что прибыль от реализации проекта в будущем значительно превысит средства, затраченные на него.

Разработку этой концепции следует начитать с ответа на вопрос, какой объект можно разместить на рассматриваемом участке. И для этого необходимо провести целый ряд маркетинговых исследований, которые проводятся по критериям соответствия экономической целесообразности и финансовой осуществимости, максимальной доходности и наивысшей стоимости.

В связи с этим рассмотрим рынок недвижимости, имеющий свои особенности и свою специфику. Отличи-

тельными особенностями рынка недвижимости являются следующие:

– индивидуальность ценообразования;

– высокий уровень издержек;

– важная роль взаимодействия первичного и вторичного рынков;

– высокая зависимость цен, доходности и рисков от состояния регионально экономики;

– многообразие рисков;

– низкая ликвидность товара на рынке;

– слабость ценовых механизмов саморегулирования рынка.

С другой стороны, рынок недвижимости отличается рядом факторов, которые затрудняют его анализ:

– труднодоступность достоверной информации;

– ограниченное число аналогичных сделок;

– многообразие факторов, определяющих тенденции развития рынка.

С учетом указанных обстоятельств анализ рынка недвижимости представляет собой настолько же важную, насколько и трудную задачу [1].

Любой розничный оператор, девелопер, производитель, начиная работу на региональном рынке, нуждается в максимально точных данных, которые позволяют оценить эффективность вложений в развитие. Разумеется, первоначальные затраты на исследования в регионе должны быть сбалансированы относительно предполагаемого дохода, с одной стороны, и быть максимально достоверными, с другой.

Всех операторов, девелоперов, производителей, желающих выйти на региональный рынок, как правило, можно разделить на два типа – тех, кто считает регионы принципиально иными, нежели Москва и Санкт-Петербург, и тех, кто воспринимает Россию как единый монолит, подчиняющийся общим маркетинговым и экономическим законам. И тот, и иной подход являются не совсем верными.

В данный момент в России можно выделить четыре основных региона, принципиально отличающихся условиями функционирования.

Под условиями функционирования мы подразумеваем:

– развитие потребительского рынка (социальная и демографическая ситуация);

– потребительские предпочтения (критерии выбора торговых точек и товаров);

– развитие конкурентного рынка;

– логистические возможности.

На основании этих принципов в данный момент существенно отличаются друг от друга Москва, Центральная Россия до Екатеринбурга, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток.

То, что отличительные особенности могут быть столь значимыми в принятии решений об инвестировании при выходе в регионы связано с тем, что регионы значительно отличаются друг от друга не только по экономической ситуации, но и по социальным, демографическим показателям и др.

Ниже представлены некоторые критерии отличий и примеры:

1. Условия потенциальной конкуренции в каждом из этих регионов являются различными. Так, если составлять условный конкурентный рейтинг, можно говорить о том, что на первом месте будут находиться города Центральной России (включая Урал) и Дальнего Востока.

2. Предполагаемый объем рынка в каждом регионе также является различным. На первом месте в данном случае находится Москва, на втором – Западная и Восточная Сибирь, далее – остальные.

3. Востребованные форматы розничной торговли и коммерческой недвижимости в данных регионах будут разительно отличаться, так как существует бум торговых центров и розничных сетей на территории Центральной России и распределительных центров на территории Сибири.

4. Условиями входа на территорию Центральной России и Москвы будут являться вложения в недвижимость, землю, рекламу и продвижение. Условиями входа на территорию иных регионов будут являться вложения в логистику.

5. Города восточнее Красноярска станут недосягаемыми для российских сетей с точки зрения глобальной конкуренции (глобального развития) в течение ближайших лет.

Однако даже те регионы, в которых активная конкуренция возможна, требуют пристального внимания и скрупулезной подготовки выхода на новый рынок. В первую очередь, это связано с различием менталитетов регионального покупателя и жителя столицы. Кроме того, конкуренция в регионах испытывает влияние факторов, существенно отличающихся от московских: зачастую за счет особого отношения к административному ресурсу и развития региональной экономики.

Таким образом, проведение маркетинговых исследований перед строительством любого объекта недвижимости – необходимый этап проекта; тем более он становятся таковым при работе с неосвоенными рынками соседних регионов.

Только в случае, если будет проведен экспертный анализ площадки или объекта недвижимости на предмет его наилучшего использования с точки зрения того или иного бизнес-проекта, т. е. произойдет адаптация инвестиционных возможностей застройщика к потребностям реального или перспективного рынка, прибыль от реализации проекта в будущем значительно превысит средства, затраченные на него.

Результатом применения маркетинговых исследований застройщиками станет более быстрое и безболезненное возрождение реального сектора экономики страны и региона и дальнейшее развитие строительной отрасли. Это, несомненно, скажется и на облике города, и на качестве жизни горожан. Но главный плюс применения этого фундаментального экономического принципа – создание цивилизованного строительного рынка.

Библиографическая ссылка

1. Щербаков А. И., Золоторев И. И., Щербакова Н. А. Основы экономики недвижимости : учеб. пособие. Новосибирск : НГАСУ, 1997.

N. V. Knyazeva, A. V. Kiseleva, T. A. Shindina

PARTICULARITY IN FUNCTIONING OF THE REGIONAL REAL ESTATE MARKET IN POSTCRISIS PERIOD

The article considers problems of investors of construction business., especially during the difficult postcrisis period,. Distinctive features of the real estate market, and the factors complicating the analysis performance are shown. Also problems of making decisions on the basis of qualitative marketing economic and expert researches. Some criteria of regional differences which should be taken into account for the further development of construction branch are given.

Keywords: the real estate market, development, marketing research, building business, the regional market.

© Князева Н. В., Киселева А. В., Шиндина Т. А., 2010

УДК 338.465

Г. П. Тарасова, Т. Г. Бутова, Т. В. Решетова

РЫНОК БЫТОВЫХ УСЛУГ: ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЫНКА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ)

Динамика развития рынка бытовых услуг Красноярского края отличается отставанием от общероссийского. Кроме того, в крае в 2008 г. отмечается снижение темпов роста объема бытовых услуг. Имея достаточно высокий потенциал, о чем свидетельствует доля бытовых услуг в общем объеме платных услуг в 2002 г., рынок бытовых услуг может быть привлекательным для среднего и малого бизнеса. Бизнес-решения и государственное регулирование в отрасли бытовых услуг должны опираться на прикладные научные исследования рынка, учитывающие современные тенденции, в частности фрагментацию рынка.

Ключевые слова: бытовые услуги, рынок бытовых услуг, фрагментация рынка бытовых услуг.

Уровень развития сферы услуг можно рассматривать как показатель социального и экономического развития регионов, а также как важнейшее условие обеспечение качества жизни населения. Основной задачей бытового обслуживания населения является создание комфортных условий жизни за счет рационализации домашнего хозяйства, тем самым, высвобождение времени для других целей: отдыха, самообразования, удовлетворения культурных потребностей.

Бытовое обслуживание населения представляет собой традиционный и наиболее объемный сектор сферы платных услуг населению РФ, доля которого составляет, по данным статистики, почти 10 % [1]. Бытовое обслуживание является сферой для активной деятельности малого предпринимательства. Краевая целевая программа «Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства в Красноярском крае» на 2008–2010 гг. способствует решению проблем развития организаций бытового обслуживания [2]. Принятие программы, на наш взгляд, является весьма актуальным решением, так как при анализе развития рынка бытовых услуг Красноярского края были выявлены проблемы его развития.

Статистический анализ динамики развития рынка бытовых услуг показал рост объемов бытовых услуг как в целом по стране, так и по Красноярскому краю. За период с 2002 по 2008 гг. объем бытовых услуг увеличился в России в 3,2 раза (с 126,8 до 406,1 млрд руб.), в Красноярском крае – лишь в 2,1 раза (с 3,2 до 6,7 млрд руб.) (рис. 1, 2).

Сравнительный анализ темпов роста рынка бытовых услуг показал его отрицательную динамику в Красноярском крае. Так, в 2008 г. темп роста объема бытовых услуг в РФ составил 3,7 %, в то время как в крае отмечается снижение данного показателя на 1,3 %.

Оценивая динамику индексов физического объема бытовых услуг, исключающих влияние цен, за 2002–2008 гг. можно сделать вывод о том, что в Красноярском крае отмечается неустойчивое развитие рынка с тенденцией к снижению, в отличие от общероссийской тенденции устойчивого хотя и незначительного роста (рис. 3) .

Развитие услуг бытового обслуживания во многом зависит от уровня жизни населения и развития конкуренции. Несмотря на рост доходов населения, отмечается тенденция сокращения доли бытовых услуг в структуре платных услуг населению, причем в Красноярском крае более быстрыми темпами (рис. 4).

Так, за исследуемый период доля бытовых услуг в Красноярском крае снизилась на 5,3 %, в России – на 1,8 %. Как показывает анализ, с 2006 г. Красноярский край отстает от России по доле бытовых услуг в общем объеме платных услуг населению.

Между тем, следует отметить, что за исключением 2006 г. рост объемов бытовых услуг в Красноярском крае опережает рост объемов платных услуг, хотя отмечается тенденция к снижению темпов опережения (рис. 5).

Таким образом, статистический анализ регионального рынка бытовых услуг Красноярского края позволил

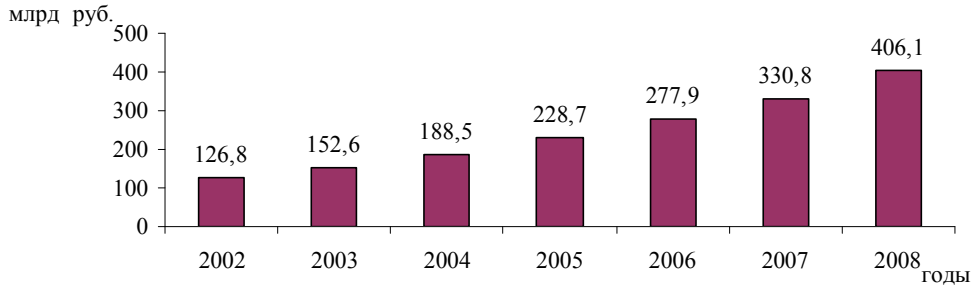


Рис. 1. Динамика развития рынка бытовых услуг в России за 2002–2008 гг. [1]

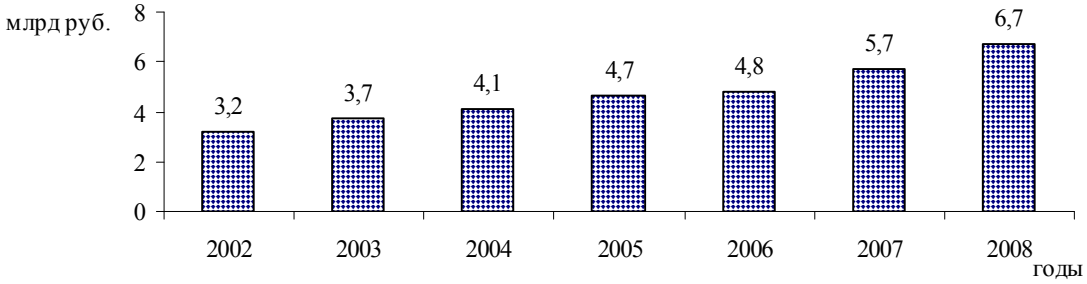


Рис. 2. Динамика развития рынка бытовых услуг в Красноярском крае за 2002–2008 гг. [3]

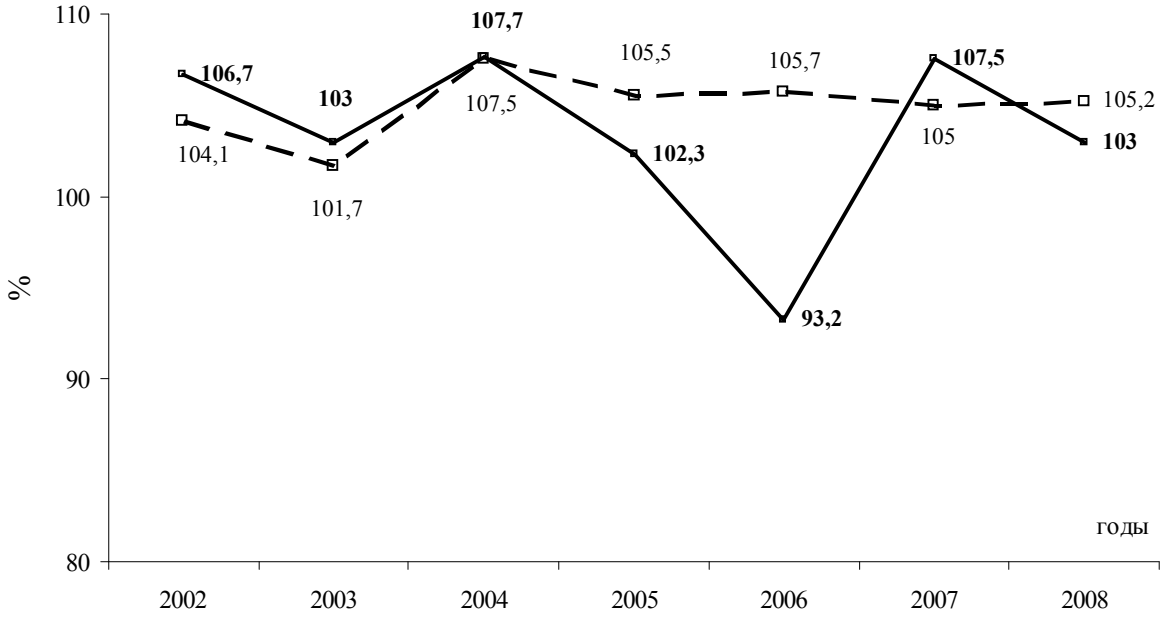


Рис. 3. Динамика индексов физического объема бытовых услуг по России и Красноярскому краю за 2002–2008 гг. [1; 3]:
– Красноярский край; – Россия

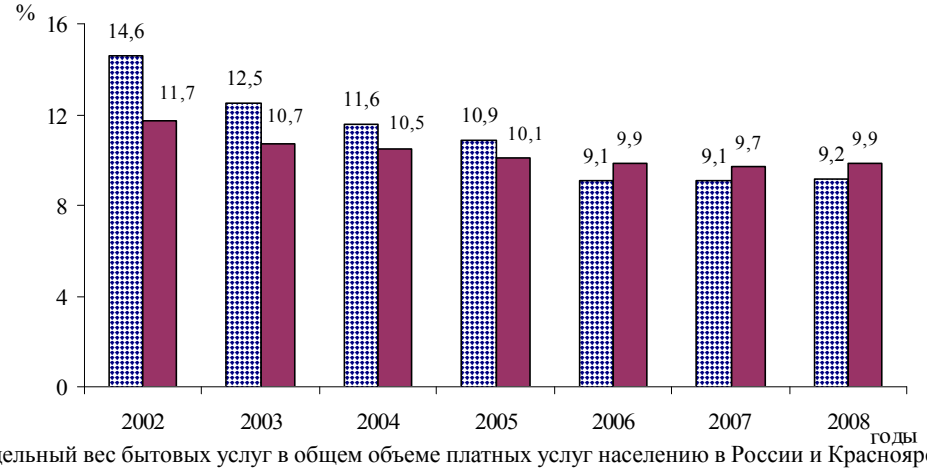


Рис. 4. Удельный вес бытовых услуг в общем объеме платных услуг населению в России и Красноярском крае за 2002–2008 гг. [1; 3]: – Красноярский край; – Россия

выявить проблемы его развития. Между тем, на наш взгляд, определить потенциальные возможности рынка бытовых услуг для бизнеса возможно на основе учета современных тенденций его развития.

Следует отметить, что на рынке бытовых услуг происходят такие же изменения, что и на других рынках, в частности фрагментация рынка на товарные сегменты [4]. Это обусловливает необходимость анализа подходов к определению товарных границ сегментов рынка бытовых услуг. Виды бытовых услуг чрезвычайно разнообразны, что вызывает необходимость их классификации с целью повышения результативности анализа. В настоящее время в России действует классификатор услуг населению «Общероссийский классификатор услуг населению» (ОКУН), в котором в укрупненную группу «Бытовые услуги» включены разнообразные, не всегда связанные с сущностью бытового обслуживания услуги [5]. Виды бытовых услуг в соответствии с ОКУН отражены в таблице.

Такой эклектический подход при современных тенденциях развития рынка бытовых услуг, заключающихся в товарной фрагментации и формировании рынка B2B, не позволяет провести качественно анализ и определить потенциал развития отдельных товарных рынков. Несовершенство ОКУН обусловило необходимость релевантной классификации бытовых услуг на основе научно обоснованных признаков.

Анализ литературы показал, что существует несколько подходов к классификации бытовых услуг. Некоторые авторы услуги, оказываемые предприятиями бытового обслуживания, разделяют на три группы [6]:

– услуги, связанные с созданием новых потребительных стоимостей (пошив одежды, обуви, изготовление мебели и т. д.);

– услуги, связанные с восстановлением раннее созданных потребительных стоимостей (ремонт одежды, обуви, мебели, прачечные и т. д.);

– услуги личного характера, направленные непосредственно на человека или на окружающие его условия и не фиксируемые в предметах потребления (услуги парикмахерских, услуги проката и т. д.).

Другие авторы, не проводя группировку услуг, включают новые виды, например, услуги ломбардов и ремонт часов, исключают некоторые виды, например, ритуальные услуги, обслуживание и ремонт транспортных средств, ремонт и строительство жилья и других построек, разделяют группу «ремонт и техническое обслуживание бытовой радиоэлектронной аппаратуры, бытовых машин и приборов, ремонт и изготовление металлоизделий» на отдельные услуги [7].

На наш взгляд, классификация бытовых услуг должна быть проведена на основе определения потребительской сущности бытовых услуг, определяемой тем, какую потребность удовлетворяет та или иная услуга. Поэтому прежде чем обозначить свой подход, дадим определение сущности категории «быт». В широком смысле под данной категорией понимается сфера внепроизводственной социальной жизни человека, область повседневной жизни, непосредственно связанная с удовлетворением материальных и духовных потребностей, воспроизводством человека, этноса, населения страны в целом. В узком смысле термин «быт» употребляется как домашний быт, представляющий уклад повседневной жизни людей [8]. Бытовые отношения зависят от способов ведения домашнего хозяйства, к которым можно отнести самообслуживание и использование наемного, т. е. оплачиваемого профессионального труда в форме бытовых услуг.

Среди группы бытовых услуг можно выделить две группы: бытовые услуги и небытовые. Первая группа включает услуги, направленные на изменение окружающей человека среды. В качестве объекта воздействия выступают материальные продукты, которые окружают человека в быту, вторая группа включает услуги, направленные на изменение внешнего вида человека.

Такой подход позволяет авторам сформулировать предложения по классификации бытовых услуг. Разделение бытовых услуг по укрупненным группам представлено в таблице. Учитывая определенную ранее сущность категории «быт», предлагаем к бытовым услугам отнести группы I, II, III, VII, VIII, IX.

Сравнительный анализ развития бытовых и небытовых услуг в России и Красноярском крае показал неравномерность развития отдельных видов (см. таблицу). Так, в целом по РФ основную долю занимают ремонт и строительство жилья и других построек (28,6 %), а также техническое обслуживание и ремонт транспортных средств, машин и оборудования (25,4 %), в крае наибольший удельный вес составляют услуги по ремонту и техническому

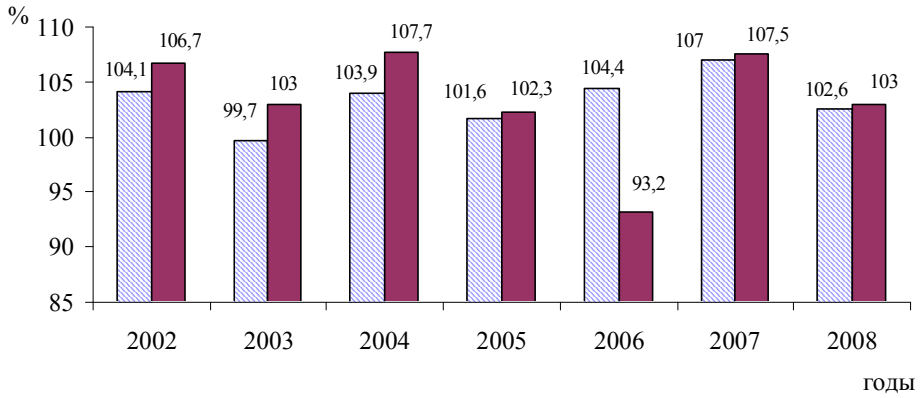


Рис. 5. Индексы физического объема платных и бытовых услуг населению в Красноярском крае за 2002–2008 гг. [1; 3]:
□ – платные услуги, всего; ■ – бытовые услуги

обслуживанию бытовой аппаратуры (24,9 %) и ремонту и строительству жилья (23,5 %). В 2008 г. в структуре бытового обслуживания населения Красноярского края по-прежнему преобладали услуги по ремонту и техническому обслуживанию бытовой радиоэлектронной аппаратуры, бытовых машин и приборов; услуги по строительству и ремонту жилья и других построек, на долю данных видов пришлось около 45 % всего объема бытовых услуг.

Однако, несмотря на значительную долю услуг по ремонту и техническому обслуживанию бытовой радиоэлектронной аппаратуры, бытовых машин и приборов в общем объеме бытовых услуг, спрос на данный вид услуг снижается, в 2008 г. по сравнению с 2002 г. их удельный вес снизился на 12,9 %. При этом доля услуг по строительству и ремонту жилья за шесть лет возросла на 6,4 %.

За исследуемый период вырос спрос на услуги по техническому обслуживанию и ремонту транспортных средств, машин и оборудования – на 3 %, услуги парикмахерских (на 2,4 %), бань и душевых (на 1,6 %), услуги по ремонту и пошиву одежды (на 0,9 %). Снижение спроса

Динамика структуры бытовых услуг в России и Красноярском крае в 2002–2008 гг. [1; 3]

		2002 г.		2003 г.		2004 г.		2005 г.		2006 г.		2007 г.		2008 г.	
Все оказанные услуги		РФ	Красноярский край	РФ	Красноярский край	РФ	Красноярский край	РФ	Красноярский край	РФ	Красноярский край	РФ	Красноярский край	РФ	Красноярский край
		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
В том числе:															
I	1.1. Ремонт и пошив обуви	2,9	10,3	2,9	10,5	2,8	11,4	2,7	11,1	2,6	11,2	2,4	10,3	2,3	10,1
	1.2. Ремонт и пошив одежды, пошив и вязание трикотажных изделий	10,8	3,5	10,2	3,1	9,7	3,7	9,2	3,9	8,3	4,5	7,6	4,3	7,2	4,4
	1.3. Химическая чистка и крашение	0,8	0,4	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8	0,4	0,7	0,4	0,8	0,4	0,5	0,4
	1.4. Услуги прачечных	1,1	1,5	1,1	0,9	0,9	1	0,8	1,2	0,7	1,4	0,6	1,3	30	1,2
II	Ремонт и техническое обслуживание бытовой радиоэлектронной аппаратуры, бытовых машин и приборов, ремонт металлоизделий	8	32,9	7,7	32,9	7,4	34,2	6,5	33,1	6,1	27,9	5,7	24,9	5,2	22
III	Изготовление и ремонт мебели	1,9	2,9	1,9	2,1	1,9	1,8	1,8	1,6	3,2	1,2	4,1	1,3	0,8	1,8
IV	Ремонт и строительство жилья и других построек	25	16,7	25,9	20,3	27	18,7	27,4	20,2	28,3	21	28,6	23,5	26	23,1
V	Техническое обслуживание и ремонт транспортных средств, машин и оборудования	21,9	11	21,7	9,8	22	9	24,1	10,6	23,7	12,9	25,4	13	26	14
VI	Услуги фотоателье, фото- и кинолабораторий	3,3	2,4	3,1	1,9	2,7	2,3	2,5	2,4	2,3	2,5	2,1	2,4	2	2,3
VII	Услуги бань и душевых	1,9	2,1	2	1,7	1,9	1,9	1,9	2,3	2	3,2	2	3,3	2,2	3,7
VIII	Услуги парикмахерских	6,5	2,2	6,7	2,2	6,7	2,4	6,9	2,1	7,2	2,6	7,1	3	7,8	4,6
IX	Ритуальные услуги	6,9	10,5	7,3	9,9	7,7	10,2	8	9,7	8,2	10,6	7,8	11,2	7,2	10,8
X	Услуги по прокату	0,3	0,2	0,4	0,1	0,5	0,1	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,4	0,7	0,5
	Прочие бытовые услуги	8,7	3,4	8,3	4,3	7,7	3	6,9	1,2	6,2	0,4	5,3	0,7	4,7	1,1

произошло на такие услуги, как изготовление и ремонт мебели (–1,1 %), ремонт и пошив одежды, пошив и вязание трикотажных изделий (–0,9 %) и прочие услуги (–2,3 %). По остальным видам услуг изменения незначительны.

Данный анализ рынка бытовых услуг Красноярского края позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на рост абсолютных показателей объема оказанных бытовых услуг, в данной сфере прослеживаются и негативные тенденции. Уменьшается доля бытовых услуг в общем объеме платных услуг, снижается спрос на определенные виды услуг. Поэтому в настоящее время большое значение имеет инновационное развитие сферы бытового обслуживания населения. Более совершенная организация функционирования бытовых предприятий будет способствовать росту рынка услуг на территории края, увеличению обеспеченности населения качественными услугами, и, как следствие, повышению уровня и качества жизни населения. Развитие рынка бытовых услуг обеспечит инвестиционную активность в данной сфере, создание новых рабочих мест и рост валового регионального продукта.

Библиографические ссылки

1. Федеральной службы государственной статистики : офиц. сайт. URL: www.gks.ru.

2. Краевая целевая программа «Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства в Красноярском крае» на 2008–2010 гг. : Закон Красноярского края от 20 дек. 2007 г. № 4–1130 // Офиц. сайт Краснояр. администрации. URL: http://admkrsk.ru.

3. Государственный краевой отдел статистики : офиц. сайт. URL: www.statis.krs.ru.

4. Тарасова Г. П., Бутова Т. Г. Развитие рынка бытовых услуг в Красноярском крае // Современные проблемы маркетинга и менеджмента : сб. науч. тр. ; МЭСИ. М. : 2008.

5. Общероссийский классификатор услуг населению ОК 002-93 / Госстандарт России. М., 2008.

6. Зворыкина Т. И., Платонова Н. А. Техническое регулирование: сфера услуг. М. : Альфа-М, 2008.

7. Фирсукова В. В., Белобров М. В. Источники привлечения финансовых ресурсов в сферу бытовых услуг региона (на примере Московской области) // Сервисplus. 2008. № 2.

8. Большая советская энциклопедия. 3-е изд. М. : Советская энциклопедия, 1971.

G. P. Tarasova, T. G. Butova, T. V. Reshetova

THE MARKET OF CONSUMER SERVICES: FEATURES OF THE REGIONAL DEVELOPMENT (ON EXAMPLE OF THE MARKET OF KRASNOYARSK REGION)

Dynamics of development of the consumer services market services in Krasnoyarsk region gets behind all-Russian market. Besides, in 2008 the volume of consumer services in Krasnoyarsk region decreased at 1,3 %. Having high enough potential, as evidenced by the share of consumer services in total amount of paid services in 2002, the market of consumer services can be attractive to medium and small-scale business. The decision of business and state regulation in branch of consumer services should be based on applied scientific research of the market, taking into account current trends, fragmentation of the market, in particular.

Keywords: consumer services, market of consumer services, fragmentation of consumer market services.

© Тарасова Г. П., Бутова Т. Г., Решетова Т. В., 2010

УДК 614.812

С. В. Козаченко, М. В. Пирогов

ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ БЕСПЛАТНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ НА УРОВНЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Практика планирования бесплатной медицинской помощи в субъектах Российской Федерации в настоящее время отличается большим разнообразием подходов, основанных на положениях, рекомендованных в федеральных методиках, и необходимости решения задач планирования с учетом особенности функционирующей лечебной сети. Поиск общих закономерностей планирования, в большей степени ориентированный на потребности жителей региона в медицинских услугах, и оценка готовности лечебной сети в их предоставлении является серьезной научно-практической задачей. Рассматриваются существующие проблемы планирования и предлагаются варианты решения, основанные на оценке объективного спроса граждан на медицинскую помощь, представленную в виде наборов стандартизированных медицинских технологий.

Ключевые слова: Программа государственных гарантий, система планирования, стандартизированная медицинская технология, объективный спрос, ответственное предложение, тариф.

Определение расходов субъекта Федерации на выполнение гарантированной государством бесплатной медицинской помощи в условиях реализованной «бюджетно-страховой» схемы финансирования здравоохранения осуществляется в соответствии с рекомендациями Министерства здравоохранения и социального развития, которые ежегодно оформляются соответствующим письмом после выхода Постановления Правительства РФ по Программе государственных гарантий оказания бесплатной медицинской помощи гражданам Российской Федерации.

Экономическая суть предложенной методики заключается в применении подушевых объемных нормативов на медицинскую помощь, учитывающих возрастную структуру субъекта по взрослому и детскому населению, и стоимостных нормативов [1]. Кроме того, нормативы учитывают профиль медицинской помощи и ее уровень. Под уровнем в данном случае понимается разделение всех объемов медицинской помощи на клинический (областной, краевой, республиканский), городской и районный. Удорожание единицы объема медицинской помощи учитывается посредством применения территориального коэффициента удорожания медицинской помощи, нормированного для каждого субъекта РФ.

Отдавая должное простоте расчета планируемых расходов, нельзя не отметить очень высокую агрегацию используемых данных, не отражающих реальную потребность населения в бесплатной медицинской помощи, и совокупную возможность лечебной сети эту потребность обеспечить. Баланс спроса и предложения медицинской помощи и его финансовое обеспечение предлагается (в рамках федеральной методики) решать каждому субъекту самостоятельно. И каждый субъект ежегодно решает эту задачу по мере собственного понимания поставленной задачи.

Очевидно, что задачу единообразия определения планируемых затрат данная методика решает и позволяет достаточно корректно оценить расчетную потребность в финансировании сети лечебных учреждений, выполняющих программу государственных гарантий как по отдельному субъекту, так и по Федерации в целом. Контроль выполнения территориальной Программы государственных гарантий становится достаточно простой задачей, заключающейся в проверке соответствия объема и структуры запланированной и оказанной помощи субъекта Федерации федеральным нормативам Программы государственных гарантий. Субъекту Федерации сегодня проще привести свои показатели к федеральным, чем обосновывать свои региональные особенности в условиях полной неконкретности таких понятий, как корректировка по уровню заболеваемости, климато-географические критерии и степень транспортной доступности.

Серьезной проблемой для регионального планирования является решение задач собственного планирования, формирования адекватного государственного и муниципального заказов, размещения их в учреждениях здравоохранения, учет того, что нужно пациентам, и того, что может предложить лечебная сеть. Действующая нормативная база (Постановление Правительства РФ от 06.05.2003 № 255 «О разработке и финансировании выполнения заданий по обеспечению государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи и контроле за их выполнением») предлагает определить потребность (т. е. объективный спрос) населения на медицинскую помощь непосредственно учреждению здравоохранения [2]. Но данный субъект экономических отношений, являясь производителем услуг, может отвечать только за их предоставление, и по этой причине его мнение по спросу на медицинскую помощь достаточно субъективно.

Для объективной оценки соответствия предложения спросу должен существовать независимый субъект – информированный покупатель медицинских услуг [3]. В страховой схеме финансирования здравоохранения это страховая медицинская организация (СМО), в государственной (бюджетной) схеме финансирования это орган управления здравоохранением, в схеме частного финансирования это сторона, непосредственно оплачивающая медицинскую помощь.

А вот кто является информированным покупателем медицинских услуг в отечественной «бюджетно-страховой» схеме финансирования – не понятно. Если это СМО, то почему она не участвует в планировании медицинской помощи и в размещении заказа на медицинские ус-

луги для учреждения? Если орган управления здравоохранением, то почему он не несет финансовых рисков?

Понимание того, что существующая в России схема финансирования здравоохранения не позволяет решать поставленные перед системой здравоохранения задачи, звучит на самом высоком уровне исполнительной и законодательной власти. Достаточно обратиться к посланию Президента РФ к Федеральному собранию в конце 2008 г. и заявлению Председателя Правительства РФ, руководителя профильного министерства и председателя Федерального фонда обязательного медицинского страхования, не говоря уже о высказываниях ведущих отраслевых менеджеров и авторитетных ученых.

Авторы статьи не ставят своей целью повторять или комментировать данные заявления, считая их справедливыми и своевременными, а хотят поделиться собственным видением практического решения существующих противоречий и начать процесс заполнения методологического вакуума по формированию адекватных территориальных программ государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи.

Для построения сбалансированной по спросу и предложению системы планирования необходимо определить, во первых, что будет являться исходной базой для оценки потребности населения в бесплатной медицинской помощи, во вторых, что будет вложено в понимание объема медицинской помощи.

Ответ на эти вопросы можно найти в проекте концепции развития системы здравоохранения Российской Федерации до 2020 г. [4]. Прокомментируем те ее положения, которые касаются стандартизации в здравоохранении, а именно следующие:

«Одним из основных факторов создания системы качественной и доступной медицинской помощи является наличие единых для всей территории Российской Федерации порядков и стандартов оказания медицинской помощи при наиболее распространенных и социально значимых заболеваниях и патологических состояниях.

Создание стандартов медицинской помощи позволит рассчитать реальную стоимость медицинских услуг в каждом субъекте Российской Федерации, определить затраты на реализацию государственных и территориальных программ медицинской помощи населению, рассчитать необходимое лекарственное обеспечение этих программ (список жизненно необходимых и важнейших лекарственных средств), обосновать подушевые нормативы финансирования и оптимизировать варианты проведения реструктуризации сети учреждений здравоохранения.

Порядки и стандарты оказания отдельных видов медицинской помощи выступают основой программы государственных гарантий оказания гражданам бесплатной медицинской помощи, соответствующих современному уровню развития медицины и обязательных к исполнению».

Таким образом, стандарты позволяют унифицировать порядок оказания качественной и доступной медицинской помощи при наиболее распространенных заболеваниях в соответствии с показателями Программы государственных гарантий.

С другой стороны, стандарты позволяют формировать оптимальную (с позиции их выполнения) лечебную сеть и оптимизировать варианты реструктуризации этой сети. И, наконец, стандарты становятся источником определения реальной стоимости бесплатной медицинской помощи и основой финансового нормирования в здравоохранении.

В проекте концепции определено, что оценивать потребность в бесплатной помощи можно и нужно количеством необходимых населению субъекта Федерации стандартов медицинской помощи. Понимая под стандартом формализованное описание технологии лечения того или иного заболевания, синдрома (состояния) или определенной клинической ситуации, необходимо при наличии таких стандартов найти объективный и достоверный источник информации, количественно оценивающий потребность пациентов в соответствующих медицинских технологиях.

Основой для оценки объективного спроса на стандартизированные медицинские технологии (СМТ) стали персонифицированные данные по оказанной медицинской помощи по территориальной программе обязательного медицинского страхования. Характер этих данных позволяет выделить ряд основных параметров, в большой степени характеризующих особенности оказания медицинской помощи:

– диагноз основного заболевания;

– возраст и пол пациента;

– получение оперативных и анестезиологических пособий и проведение реанимационных мероприятий;

– виды медицинской помощи и условия ее предоставления;

– профиль отделения (кабинета), в котором оказывалась медицинская помощь;

– исходы лечения;

– лечебное учреждение и место оказания медицинской помощи.

Большая часть финансовых затрат в 2008 и 2009 гг. приходится на медицинскую помощь, оказанную в условиях стационара в муниципальных учреждениях здравоохранения.

Рейтинговое распределение числа госпитализаций по классам болезней представлено в табл. 1.

Порядка 95 % всей помощи оказывается в рамках 11-ти классов болезней с XV по II.

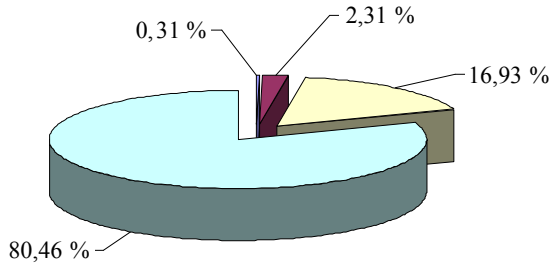
На рисунке представлена диаграмма, отображающая условные аналитические блоки по болезням системы кровообращения.

Практически все госпитализации в муниципальных лечебных учреждениях относятся к взрослому населению (терапевтический блок – 87,6 %, хирургический блок – 12,1 %).

Терапевтический блок на 90 % представлен рубриками МКБ-10, приведенными в табл. 2.

Проведя анализ заболеваемости по всем классам болезней для конкретных условий оказания помощи и по видам помощи для основных аналитических блоков, определяется необходимое число СМТ, позволяющих охватить не менее 90 % всей медицинской помощи, оказанной в Красноярском крае. Для объективной оценки ста-

ционарной помощи необходимо наличие не менее 430–550 СМТ, для амбулаторно-поликлинической помощи – порядка 250 СМТ.



Структура IX класса болезней: 0,31 % – дети-хирургия; 2,31 % – дети-терапия; 16,93 % – взрослые-хирургия; 80,46 % – взрослые-терапия

Формируя СМТ по перечню услуг диагностики и лечения, можно провести оценку стоимости конкретной СМТ при различной стоимости ресурсов, а зная число пролеченных больных, можно определить планируемые затраты как в целом по краю, так и по входящим в ее состав муниципальным образованиям и отдельным лечебным учреждениям. Оценка реальной стоимости медицинской помощи, необходимой жителям любой области (края, республики), позволяет определить возможности сети лечебных учреждений в предоставлении жителям необходимого набора конкретных услуг диагностики и лечения для подавляющего числа случаев обращения граждан за бесплатной медицинской помощью.

Ввиду того, что объективный спрос для любой группы граждан может быть описан достаточно детально в виде набора обязательных и дополнительных медицинских услуг по диагностике и лечению конкретного перечня заболеваний, можно достаточно точно определить совпадение спроса и технологических (и кадровых) возможностей конкретных лечебных учреждений. По степени обеспечения спроса все лечебные учреждения можно разделить на две большие группы:

1. Лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ) с «ответственным» предложением (совпадение по обязательному перечню услуг спроса населения не менее 85 %);

2. ЛПУ «без ответственного» предложения (совпадение по обязательному перечню услуг спроса населения менее 85 %).

ЛПУ, отнесенные к 1 группе, получив план-задание на конкретное число СМТ (в зоне своей ответственности), проводят мероприятия по оптимизации своей технологической и кадровой структуры, определяя число и специализацию своих лечебных, параклинических и вспомогательных подразделений и формируя структуру штатного расписания ЛПУ, необходимую для успешного выполнения полученного плана-задания. Взаимодействие (интеграция) ЛПУ 1 группы с другими ЛПУ направлено на решение задачи 100 %-го обеспечения обязательными медицинскими услугами, входящими в СМТ полученного плана-задания. Кроме этого, становится возможным предоставление собственных (излишних) технологических и кадровых мощностей другим ЛПУ, в рамках их собственных планов-заданий. Так как в основе планов положены СМТ и их нормативная стоимость (тариф), то предоставление (в рамках интеграции ЛПУ) любых медицинских услуг не является коммерческой деятельностью ЛПУ и может регулироваться покупателем медицинской помощи.

Для ЛПУ, отнесенных ко 2 группе, план-задание минимизируется в соответствии с их уровнем предоставления обязательного набора лечебных и диагностических услуг с учетом того, что ЛПУ не может обеспечить потребности в медицинской помощи населения, проживающего в зоне ответственности ЛПУ. В этом случае необходимо административное перераспределение потока пациентов на уровне покупателя медицинской помощи.

Кроме оптимизации структуры лечебного учреждения и приведения в соответствие плану-заданию численности персонала, изменяются подходы к финансовому

Таблица 1

Объем стационарной помощи по классам болезней

Класс	Наименование класса болезней (по Международной классификации болезней 10-го выпуска МКБ-10)	Пролечено, чел.	Доля, %
XV	Беременность, роды и послеродовой период	95 102	21,28
IX	Болезни системы кровообращения	66 688	14,92
X	Болезни органов дыхания	58 506	13,09
XI	Болезни органов пищеварения	49 655	11,11
XIV	Болезни мочеполовой системы	44 895	10,04
XIX	Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин	34 186	7,65
XIII	Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	18 833	4,21
I	Некоторые инфекционные и паразитарные болезни	18 591	4,16
XII	Болезни кожи и подкожной клетчатки	13 952	3,12
VI	Болезни нервной системы	12 504	2,80
II	Новообразования	9 735	2,18
IV	Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	6 391	1,43
XVI	Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде	5 506	1,23
VII	Болезни глаза и его придаточного аппарата	4 869	1,09
VIII	Болезни уха и сосцевидного отростка	2 975	0,67
	Прочие классы болезней (III, XVII, XVIII, XXI, XX)	4 615	1,03
	ИТОГО	447 003	100,0

планированию учреждения. Используя для определения собственных издержек (расчета себестоимости СМТ) ту же методику, которая используется для финансовой оценки стоимости территориальной ПГГ и формирования тарифа на СМТ, определяются предстоящие расходы на реализацию плана-задания и разрабатывается план мероприятий по оптимизации профильной структуры ЛПУ, его кадрового, технологического и материального обеспечения. Оптимизация ресурсного обеспечения предполагает интеграцию с другими ЛПУ с целью импорта недостающих медицинских услуг и экспорта избыточных услуг для обеспечения большей загрузки имеющегося диагностического оборудования.

Одним из важнейших блоков финансового менеджмента в стационаре является фармацевтический менеджмент, позволяющий формировать формуляр лекарственного обеспечения ЛПУ на основе фармацевтического блока формирования и расчета СМТ. Ориентируясь на текущие цены ресурсов и прогноз их изменения, финансово-экономические службы подходят к объективизации процесса управления закупками. Использование СМТ для формирования тарифов медицинской помощи, реструктуризации и оптимизации сети лечебных учреждений, ориентированной на объективную потребность населения в медицинской помощи, для финансового менеджмента каждого ЛПУ, направленного на выполнение плана-задания и минимизацию собственных издержек, позволяет изменить базовые принципы планирования бесплатной медицинской помощи в любом субъекте Федерации.

Определение подушевых объемных и финансовых нормативов (в том числе половозрастных), учитывающих спрос населения на СМТ для конкретных классов болезней и диагнозов, позволяет определить финансовые риски плательщиков и формировать планы-задания для ЛПУ на основе отнесения части данного риска в зависимости от структуры страховых полей СМО, вовлекая данный субъект отношений в системе медицинского страхования в процесс реального перспективного и текущего планирования медицинской помощи.

Предложенные новые подходы в планировании бесплатной медицинской помощи нашли свое практическое отражение в процессе медико-экономической стандартизации системы здравоохранения ряда субъектов Федерации, таких как Московская, Рязанская, Белгородская, Тверская области и Краснодарский край. Аналитические материалы по этим регионам подтверждают общие закономерности планирования медицинской помощи и объективную возможность перехода от используемых сегодня глобальных, объемных и финансовых агрегаций бесплатной медицинской помощи к более конкретным, технологически объективным и ресурсообоснованным показателям.

Библиографические ссылки

1. Кравченко Н. А., Поляков И. В. Научное обоснование методологии прогнозирования ресурсного обеспечения здравоохранения России (история и современность). М. : Федеральный фонд ОМС, 1998. С. 392.

2. О разработке и финансировании выполнения заданий по обеспечению государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи и контроле за их реализаций : Постановление Правительства РФ от 06 мая 2003 г. № 255 [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Стародубов В. И., Флек В. О. Финансирование медицинской помощи населению Российской Федерации, ориентированное на результат / М. : МЦФЭР, 2007. С. 112–123.

4. Концепция развития системы здравоохранения Российской Федерации до 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.zdravo2020.ru.

Таблица 2

Основные рубрики МКБ-10 для блока «взрослые-терапия» по IX классу болезней

Код	Наименование рубрики болезней (МКБ-10)	Доля, %	Средняя длительность*, дней
I20	Стенокардия (грудная жаба)	20,4	12,6
I67	Другие цереброваскулярные болезни	13,5	12,2
I25	Хроническая ишемическая болезнь сердца	11,3	12,1
I11	Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца	10,9	11,4
I63	Инфаркт мозга	9,3	15,8
I21	Острый инфаркт миокарда	5,4	17,5
I69	Последствия цереброваскулярных болезней	5,3	12,8
I10	Эссенциальная (первичная) гипертензия	5,3	11,4
I48	Фибрилляция и трепетание предсердий	4,1	11,0
I49	Другие нарушения сердечного ритма	2,5	11,1
I22	Повторный инфаркт миокарда	1,6	16,1
	Прочие диагнозы	10,4	

* – средняя длительность госпитализации.

S. V. Kozachenko, M. V. Pirogov

SPECIFICS OF FREE CARE PLANNING AT LEVEL OF REGIONAL PUBLIC HEALTH SERVICE

Practice of free care planning in constituent territories of the Russian Federation is notable for big variety of approaches based on statements, recommended federal methodologies and need for decision of the planning problems in view of specifics of medical system functioning. Search of the general planning principles, in a greater degree, focused on need of region inhabitants for medical services and estimation of ability of medical system to provide such services is a serious academic-research problem. In the article current planning problems are considered and the variants of decisions based on citizens medical aid objective demand estimations, presented in terms of sets of standardized medical technologies are suggested.

Keywords: State guarantees program, planning system, standardized medical technology, objective demand, important offer, the tariff.

© Козаченко С. В., Пирогов М. В., 2010

УДК 669.713.7

С. А. Беляков

ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СЕКТОРА В РЕГИОНЕ

В настоящее время в мировой экономике происходит постоянное возрастание веса и влияния высокотехнологичных отраслей, в связи с чем возникает естественная задача исследования различных механизмов научно-технологического развития, которые соответствуют современным представлениям о научно-техническом прогрессе.

Ключевые слова: биотехнология, инструменты, государственная поддержка, кластер.

Возрастание веса и значения высокотехнологичных отраслей в экономике стран связано с их значительным влиянием на все сферы жизнедеятельности человека, и к таким отраслям можно отнести биотехнологию, проникающую в настоящее время во все отрасли народного хозяйства – энергетику, медицину, сельское хозяйство, строительство и т. д. Биотехнология является одним из направлений пятого и шестого технологических укладов, и степень ее развития определяет технологический уровень страны.

Биотехнология имеет хорошие перспективы развития в российской практике и позволит решить многие социально-экономические проблемы в развитии экономики России: создание новых биологически активных веществ, лекарственных препаратов; создание новых технологий по глубокой переработке сельскохозяйственных, промышленных и бытовых отходов; более эффективное использование энергетического потенциала страны и т. п. Ведущими странами в области внедрения биотехнологий являются США, ЕС, Китай, Бразилия, Япония.

В российской практике развитие биотехнологий пока остается на низком уровне. Их доля в экспорте наукоемких производств занимает десятые доли процентов. В то же время в программных документах отмечается, что развивая биотехнологическое производство, можно добиться серьезного технологического прорыва во многих отраслях промышленности и в других отраслях народного хозяйства. Развитие биотехнологий предполагает необходимость создания региональных программ, учитывающих специфику природно-ресурсного потенциала региона и предусматривающих систему мер по поддержке создания наукоемких биотехнологических производств.

Широкий аспект использования и применения биотехнологий предполагает необходимость их классификации на основе выделенного классификационного признака. К такому признаку относится признак, отражающий фактическую и потенциальную сырьевую базу развития биотехнологий, например, лесная биотехнология, агробиотехнология, морская биотехнология, вторичная переработка отходов и т. п. Ко второму признаку можно отнести сферы использования биотехнологий: биомедицина, пищевая промышленность, биогеотехнологии и т. п. Выделение таких признаков позволяет учитывать специфику не только технологических решений, но и практическое использование биотехнологий в зависимости от качества и наличия сырьевой базы, связанной с региональными биоресурсами, целесообразностью их использования.

Изучением научных и технологических направлений биотехнологий занимаются такие организации, как Общество биотехнологов России им. Ю. А. Овчинникова, Союз предприятий биотехнологической отрасли, институты РАН. Общество биотехнологов России им. Ю. А. Овчинникова разработало Стратегию развития биотехнологической отрасли промышленности до 2020 г. (проект). Сотрудниками общества выделены направления развития биотехнологий

и проведен форсайтный анализ. Биотехнология развивается высокими темпами во всех сферах человеческой деятельности, и в мире, по их мнению, принята «цветовая» классификация биотехнологии, которая представлена на рисунке [1; 2].

Составленная по указанным источникам классификация позволяет более целенаправленно управлять формированием региональных программ биотехнологического развития, определять выбор направлений, отвечающих потребностям населения и рынка биотехнологических продуктов.

Представленная классификация биотехнологий охватывает практически все сферы жизнедеятельности человека – от развития медицины на принципиально новых технологиях до использования отходов, сохранения среды обитания и защиты от возможного негативного использования результатов исследований (биотехнологическое оружие, биотерроризм) [3]. На государственном уровне необходимо развитие всех направлений биотехнологии (из 35 технологий, признанных как критические, 16 относятся к технологиям, где ключевым элементом является биотехнология), на региональном уровне выбираются направления, имеющие достаточный биоресурс, эффективное использование и способствующие социально-экономическому развитию региона.

В основе разработки программы развития биотехнологий как целевой задачи концептуального подхода лежит программно-целевой метод, при котором программа представляется в виде целевых подпрограмм, которые отражают направления использования отдельных видов ресурсов, и включает следующие подпрограммы: экологические, коммунальные, энергетические, развитие машиностроительного комплекса, социальные, энергетическую безопасность и т. д. Временные рамки определяются стратегией социально-экономического развития региона и стратегией развития биотехнологической отрасли. Программные мероприятия зависят от наличия инвестиционных проектов, их экономической эффективности.

Современной формой организации развития биотехнологий в муниципальном образовании может быть кластер, имеющий специфические особенности, связанные с сырьевой базой производства, потенциалом развития производственных мощностей и значимостью производимой продукции как для самого муниципального образования, так и в целом для региона. Цель кластера – создание высокорентабельных предприятий малого и среднего бизнеса на основе комплексного использования отходов лесной промышленности и промышленной разработки торфа на основе современных наукоемких технологий с диверсифицированными производствами.

Формирование биотехнологического кластера должно осуществляться при решении ряда мер:

– учитывая инновационность предлагаемых проектов, необходимо создать соответствующую социальную инфраструктуру, включая жилищный фонд, объекты досуга и дошкольных и школьных учреждений;

– необходимо скоординировать усилия и ресурсы инвесторов, государства и региональных органов исполнительной власти в части развития инженерной и транспортной инфраструктуры;

– следует способствовать развитию отечественных производителей современного оборудования через систему государственных заказов и создания преимуществ отечественным поставщикам.

В основе формирования кластерной структуры должны лежать принципы, определяющие систему взаимодействия участников кластера и формирующие потенциал его устойчивого развития в долгосрочном периоде.

На основе изучения теорий кластерного подхода и современных систем управления можно выделить принципы кластерного построения потенциальных производителей продукции на основе комплексного использования имеющихся сырьевых ресурсов (табл. 1).

Успешное формирование механизма научно-технологического развития является следствием экономических и социальных условий, складывающихся в обществе. Для создания эффективного механизма поддержки наукоемких производств и формирования новых инновационных направлений в российской экономике необходимо широко использовать имеющийся опыт развитых и даже развивающихся стран. Особое внимание представляет опыт европейских стран, где активно используются меры государственной поддержки, включающие следующее:

– создание инфраструктуры, благоприятной для инновационной деятельности;

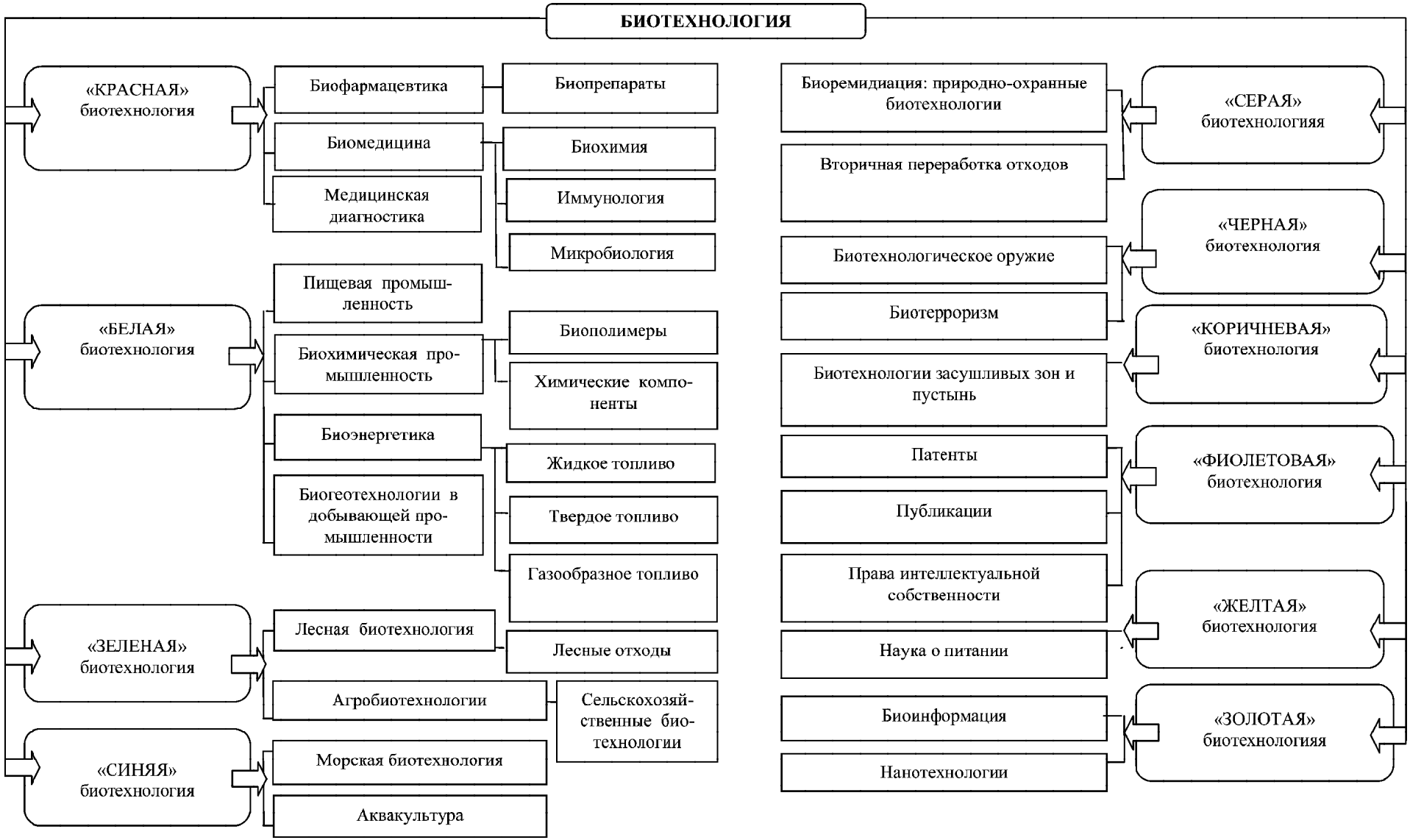
– прямое государственное финансирование научных исследований через выделение целевых грантов, предоставление кредитов, субсидий;

– предоставление налоговых стимулов и другие формы.

Государственная поддержка оказывается как производителям наукоемких технологий и производств, так и потребителям наукоемкой продукции при условии значимости в создании новых направлений инновационной экономики (например, возобновляемые источники энергии). Так, шведские домовладельцы получают госдотации за отказ от отопления нефтепродуктами, в Нидерландах и ФРГ субсидируется установка ветродвигателей и т. д. Особое внимание уделяется производству биотоплива как важнейшему направлению снижения энергозависимости европейских стран: использование биотоплива дает право на госсубсидии (Бельгия, Франция, Швеция, Италия), скидки с НДС (Австрия, Нидерланды) и другие формы, способствующие его применению. В табл. 2 систематизированы инструменты поддержки наукоемких производств в зарубежной практике и выделены инструменты поддержки биотехнологий как нового направления создания наукоемких технологий.

К основным инструментам отнесено предоставление налоговых льгот частному бизнесу; целенаправленное управление инновационной политикой корпораций через стимулирующую амортизационную политику и систему налоговых льгот; создание законодательной базы, стимулирующей и поддерживающей необходимые государству направления развития; включение в систему льгот инфраструктурных институтов инновационной поддержки.

Целевая государственная поддержка развития биотехнологий выражается в дестимулирующих инструментах при использовании невозобновляемых источников энергии; установлении квот и «зеленых» сертификатов; различных субсидиях из специальных фондов, образуемых



Классификация биотехнологии

за счет поступлений от налогов на электроэнергию, выработанную на основе традиционных источников. Особое внимание уделяется развитию сельскохозяйственного производства на основе «чистых» технологий и производства биопродуктов. Представленные инструменты позволяют сделать вывод, что в российской практике необходима разработка целевых программ по развитию биотехнологий с созданием соответствующей законодательной базы.

Развитие биотехнологии должно стать приоритетным направлением государственной политики и включать систему целенаправленных инструментов поддержки наукоемких отраслей экономики, в том числе биотехнологии.

Изучение отечественного и зарубежного опыта поддержки наукоемких отраслей и технологий, а также опыта внедрения биотехнологий и имеющихся предложений в этой сфере позволило выделить инструменты поддержки биотехнологического сектора промышленности (табл. 3).

К таким инструментам можно отнести освобождение производителей биоэнергии, ряда биопродуктов от налогов на определенный период; субсидии из специального фонда; использование системы льготных кредитов; гранты для проведения научных работ в этой сфере; целевую поддержку производителей экологически чистой продукции и т. п.

Одним из важнейших направлений является включение региональных программ в программы федерального уровня и определение региональных приоритетов в стимулировании развития. Как показывает зарубежная практика, пока биотехнологии нуждаются в различных мерах поддержки вследствие становления нового направления научно-технического прогресса и высокой их социальной значимости.

Становление нового направления инновационной экономики требует поддержки и производителей оборудования для биотехнологий, и, в первую очередь, машино-

Таблица 1

Основные принципы формирования биотехнологического кластера в регионе

№ п/п	Принципы	Содержание
1	Ориентация на местные сырьевые ресурсы	Предлагаемый биотехнологический кластер формируется на базе имеющихся в муниципальном образовании запасов торфа и отходов лесного производства. Запасы торфа достаточны для их долгосрочного использования
2	Комплексный подход в освоении сырьевых ресурсов и создание цепочки перерабатывающих производств	Такой подход отражает специфику создания кластера производственной ориентации и позволяет значительно снизить издержки производства
3	Кластерный подход в формировании добывающих и перерабатывающих производств	При этом целенаправленно проектируется система предприятий разных форм собственности и размеров (малые, средние). Создание кластерного подхода предполагает целенаправленное управление формированием кластера, отражающего его специфику – биотехнологического кластера
4	Создание системы, обеспечивающей реализацию преимуществ кластерного подхода	К элементам такой системы можно отнести синергию как дополнительный эффект за счет взаимосвязей и взаимодействий; общую инфраструктуру – производственную, социальную и др.; создание цепочки добавленной стоимости, определяющей экономическую заинтересованность входящих в кластер предпринимателей
5	Ориентация на создание инновационных, высокотехнологичных производств	Этот принцип должен лежать в основе всех новых предприятий, создаваемых в регионе. Необходим перечень основных показателей, выполнение которых обязательно для проектируемых предприятий. Предприятия кластера должны обладать ключевыми компетенциями, основанными на особенностях сырьевых ресурсов и инновационности технологий
6	Поэтапность ввода новых предприятий и мощностей	Это связано с особенностью используемых сырьевых ресурсов. В настоящее время имеются технологии глубокой переработки торфа и древесных отходов, но создание новых высокотехнологичных производств требует дополнительной подготовки, обоснования и поиска инвесторов и оборудования
7	Ориентация на взаимосвязи с другими отраслями народного хозяйства	Этот принцип отражает особенности реализации биотехнологий, которые распространяются на многие сферы экономики. Взаимосвязь и обоснованность проектов должна включать предприятия сельского хозяйства, строительства, жилищно-коммунального хозяйства, машиностроения и др.
8	Включение в систему программных материалов разного уровня программирования	Этот принцип позволяет создать систему реализации программных мероприятий за счет включения биотехнологического кластера в стратегии социально-экономического развития муниципального образования, в целом региона и программ развития биотехнологий разного уровня управления
9	Создание единого органа управления биотехнологическим кластером	Как показывает опыт, наиболее целесообразно создание управляющей компании на муниципальном уровне. Имеющиеся преимущества кластерного подхода можно реализовать только при целевом управлении, которое реализуется через единый орган управления
10	Опережающее развитие кадрового обеспечения предприятий биотехнологического кластера	Кластер имеет специфику кадрового обеспечения, подготовка которых должна осуществляться по мере включения новых производств в систему кластерных структур

строительной отрасли. Энергосбережение как целевая задача на современном этапе в своем решении требует соответствующей поддержки проектов и программ, связанных со снижением энергоемкости ряда отраслей: сельского хозяйства, лесной отрасли, жилищно-коммунального хозяйства и т. д. Особое внимание должно быть уделено использованию промышленных и бытовых отходов, где также должна быть осуществлена поддержка и разработаны меры стимулирования.

Предлагаемые инструменты поддержки формирования биотехнологического сектора охватывают весь цикл создания биотехнологической продукции и стимулируют использование биопродуктов в отдельных сферах народного хозяйства, например, в сельском хозяйстве при рекультивации земель, производстве экологически чистой продукции, при развитии экспорта. Предусматривается также стимулирование формирования интеграционных связей и, в частности, создания биотехнологических кластеров как наиболее эффективной организационной формы, позволяющей обеспечить комплексное использование биоресурсов и выпуск конкурентоспособной продукции.

Таким образом, развитие биотехнологии должно быть признано приоритетом государственной политики: адекватными формами организационной, финансовой и информационной поддержки как на федеральном, так и на региональном уровнях, законодательным обеспечением, стимулированием бизнеса и государственно-частного партнерства. Фактически, речь идет о национальном проекте, в который должны быть интегрированы все ключевые структуры государства и общества [4].

Библиографические ссылки

1. Биотехнологии [Электронный ресурс]. URL: http://www.fos.ru/biology/7178.html.

2. Рабочие материалы к Стратегии развития биотехнологической отрасли промышленности до 2020 г. М. , 2009.

3. Калинина Н. Биооружие и биобезопасность: анализ «под микроскопом» // Мировая экономика и международные отношения. 2009. № 6. С. 117.

4. Государственная поддержка инновационной деятельности [Электронный ресурс]. URL: http://www.erudition.ru/referat/printref/id.29569_1.html.

Таблица 2

Инструменты поддержки наукоемких производств

Страна	Инструменты	
	Наукоемкие производства	Биотехнологии
Австралия, Германия, Греция, Дания, Испания, Люксембург, Португалия, Финляндия, Франция, Швеция	Предоставление налоговых льгот частному бизнесу. Изменение амортизационной политики с целью обеспечения возможности для организаций увеличивать амортизационные фонды как источник инвестиций и инноваций. Налоговые льготы для поощрения тех направлений деятельности корпораций, которые желательны с точки зрения государства. Налоговые вычеты за приобретение и монтаж оборудования. Законодательно большинство государств – членов ЕС позволяют уменьшить налогооблагаемую прибыль на сумму расходов на исследования и экспериментальные разработки, произведенные в отчетный период. Меры государственной поддержки: – создание инфраструктуры, благоприятной для инновационной деятельности; – прямое государственное финансирование научных исследований путем выделения грантов, предоставления кредитов, субсидий; – предоставление государственных гарантий; – поддержка и развитие системы рискового (венчурного) финансирования; – предоставление налоговых стимулов	Надбавки к тарифам на энергию, получаемую от НВИЭ. Освобождение производителей «чистой» энергии от энергетических налогов. Квоты и «зеленые» сертификаты. Гранты на НИОКР в области нетрадиционной энергетики. Госдотации за отказ от отопления нефтепродуктами. Фискальные меры, гарантирующие налоговые вычеты (10 %) при инвестициях в производство
Нидерланды, Словакия, Чехия		Субсидии из специального фонда, образуемого за счет поступлений от налогов на электроэнергию, выработанную на основе традиционных источников. Освобождение производителей «чистой» энергии от энергетических налогов. Квоты и «зеленые» сертификаты
Австрия, Болгария, Великобритания, Венгрия		Субсидии из специального фонда, образуемого за счет поступлений от налогов на электроэнергию, выработанную на основе традиционных источников. Гранты на НИОКР в области нетрадиционной энергетики
Бразилия		Государственная целевая поддержка отрасли: – предоставление субсидий; – налоговые льготы; – кредиты
Италия		Освобождение от налогов (объем выпуска топлива достигают 300 тыс. т в год)

Таблица 3

Инструменты поддержки биотехнологического сектора промышленности

Направление	Инструменты
Законодательное обеспечение	Включение программы поддержки биотехнологического сектора промышленности в регионе. Выделение целевых программ с учетом приоритетов в стимулировании развития
Развитие биотехнологического производства	Компенсация части затрат, направленных на применение инновационных технологий, связанных с утилизацией отходов аграрного комплекса и предназначенных для автономного энергообеспечения сельскохозяйственного производства. Компенсация части затрат, направленных на сохранение (улучшение) плодородия почв. Компенсация части затрат, направленных на организацию органоминеральных удобрений из местных сырьевых ресурсов
Налоговое стимулирование	Понижение или освобождение от НДС социально значимых видов продукции. Предоставление льгот по налогам на имущество, прибыль. Введение налоговых каникул для этапа ввода в производство
Обеспечение роста конкурентоспособности отечественной продукции	Поддержка отечественных производителей оборудования для биотехнологий. Разработка и поддержка программы сельскохозяйственного машиностроительного комплекса в части организации производства торфодобывающей техники и оборудования для использования ВИЭ
Совершенствование таможенного законодательства	Снижение таможенных пошлин: на экспорт органоминеральных удобрений из местных сырьевых ресурсов; жидкого и газообразного биотоплива из местных сырьевых ресурсов; продукции из торфа; различных видов твердого биотоплива (пеллеты, брикеты и т. д.)
Совершенствование законодательного обеспечения	Приоритетное принятие Федерального закона «О возобновляемых источниках энергии». Приоритетное принятие Закона «О торфе». Разработка законодательного обеспечения оценки и защиты интеллектуальной собственности
Развитие энергосберегающих технологий	Поддержка проектов и программ, связанных со снижением энергоемкости сельскохозяйственной продукции; продукции лесного комплекса. Разработка и поддержка программы развития лесного машиностроения, в том числе в части организации производства энергетического оборудования, предназначенного для утилизации отходов
Поддержка интеграционных связей	Создание объединенной лизинговой компании для обеспечения торфяных предприятий торфодобывающим и торфоперерабатывающим оборудованием. Формирование «технологических коридоров». Поддержка формирования предпринимательских сетей в кластерах. Поддержка устойчивых кооперационных связей
Кадровое обеспечение	Обучение и консультирование менеджеров и специалистов
Решение экологических проблем	Компенсация части затрат, направленных на применение инновационных технологий, связанных с утилизацией отходов лесного комплекса и предназначенных для автономного энергообеспечения жилищно-коммунального комплекса

S. A. Belyakov

TOOLS OF BIOTECHNOLOGICAL SECTOR FORMATION IN THE REGION

At the present time in the world economy a constant increase of importance and influence of hi-tech branches takes place, in this connection there appears a task to research various mechanisms of scientific-technological development, mechanisms which correspond to modern views of scientific-technical progress.

Keywords: biotechnology, tools, state support, cluster.

© Беляков С. А., 2010

УДК 338.43:519.24

Д. В. Паршуков, Г. В. Миронов

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКА БАНКРОТСТВА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Рассмотрена система построения модели для оценки риска банкротства сельскохозяйственных предприятий Красноярского края. Проведен факторный и дискриминантный анализ данных.

Ключевые слова: факторы, дискриминантные функции, древовидная иерархия, агрегирование, функции принадлежности.

Мировой финансовый кризис и, как следствие, нестабильность на финансовых рынках вызвали резкое увеличение числа случаев банкротства предприятий на фоне замедления и даже падения экономического роста. В связи с этим для обеспечения стабильного функционирования предприятия необходимо проводить раннюю диагностику на предмет возможного банкротства в будущем. Это обусловливает высокую актуальность разработки эффективной модели оценки риска банкротства, которая позволила бы своевременно прогнозировать кризисные ситуации на российских предприятиях. Цель данной работы – построить модель оценки риска банкротства для сельскохозяйственных предприятий Красноярского края.

Построение модели предполагает последовательную реализацию ряда этапов:

1 этап. Определение набора финансовых коэффициентов для дальнейшего анализа, определение классов финансового состояния, составление лингвистических характеристик.

2 этап. Снижение размерности набора коэффициентов посредством метода главных компонент и построение иерархии факторов.

3 этап. Построение дискриминантных функций для выделенных на втором этапе главных компонент.

4 этап. Составление агрегированной матрицы для распознавания уровней на стандартном 01-классификаторе.

5 этап. Свертка по узлам иерархии для оценки принадлежности предприятия к определенным на первом этапе классам.

На *первом этапе* сформируем три группы предприятий: финансово-стабильные предприятия (третий класс), финансово-неустойчивые предприятия (второй класс), финансово-кризисные предприятия (первый класс). Далее сформируем массив данных из двадцати трех финансовых показателей, таких как показатели рентабельности, платежеспособности, деловой активности, которые характеризуют различные аспекты финансовой деятельности сельскохозяйственных предприятий [1]. Модель строилась по данным 2006–2007 гг. Проверка модели производилась по данным за 2008 г.

Сформируем так называемую лингвистическую переменную «Уровень фактора» [2] с терм-множеством значений L вида:

$$L = \{\text{низкий уровень (Н)}, \text{средний уровень (С), высокий уровень (В)}\}. \quad (1)$$

Введем критерий F_0 – уровень финансовой состоятельности и платежеспособности. Лингвистическая характеристика – это качественное описание состояния предприятия с позиции F_0. Зададим следующие лингвистические характеристики:

– уровень показателя F_0 «низкий» – предприятие принадлежит к классу финансово-кризисных предприятий (класс первый);

– уровень показателя F_0 «средний» – предприятие принадлежит к классу финансово-неустойчивых предприятий (класс второй);

– уровень показателя F_0 «высокий» – предприятие принадлежит к классу финансово-устойчивых предприятий (класс третий);

– предприятие принадлежит к классу финансово-кризисных предприятий – риск банкротства «высокий»;

– предприятие принадлежит к классу финансово-неустойчивых предприятий – риск банкротства «средний»;

– предприятие принадлежит к классу финансово-устойчивых предприятий – риск банкротства «низкий».

Второй этап – отбор на основе факторного анализа (с предварительным анализом на мультиколлинеарность) факторов, обусловливающих наибольший вклад в дисперсию результирующего показателя F_0, характеризующего факт банкротства предприятия через лингвистические характеристики. Описание алгоритма факторного анализа приведено в [2].

По алгоритму факторного анализа были выделены следующие факторы.

Фактор 1: $k1$ – коэффициент покрытия запасов; $k2$ – собственные оборотные средства в покрытии запасов; $k3$ – рентабельность оборотных активов; $k4$ – доля собственных оборотных средств в активах; $k5$ – доля запасов в оборотных активах.

Первый фактор включает в себя показатели, характеризующие использование работы оборотных активов и запасов на предприятии. В качестве краткой характеристики можно его назвать показателем покрытия оборотных активов.

Фактор 2: $k6$ – коэффициент соотношения заемных и собственных средств; $k7$ – коэффициент финансовой зависимости; $k8$ – коэффициент маневренности собственного капитала; $k9$ – период окупаемости собственного капитала.

Фактор под номером два включает показатели, характеризующие использование собственного капитала на предприятии.

Фактор 3: $k10$ – коэффициент концентрации собственного капитала; $k11$ – коэффициент концентрации

заемного капитала; $k12$ – коэффициент рентабельности активов; $k13$ – коэффициент общей рентабельности.

Третий фактор объясняет рентабельность предприятия относительно концентрации капитала. Обозначим его фактором рентабельности.

Фактор 4: $k14$ – коэффициент абсолютной ликвидности; $k15$ – коэффициент быстрой ликвидности; $k16$ – коэффициент текущей ликвидности; $k17$ – рентабельность производства.

Фактор включает в себя показатели ликвидности и показатель рентабельности производства. В качестве краткой характеристики можно его назвать показателем платежеспособности.

Чтобы определить значимость факторов, рассмотрим табл. 1.

Пусть знак «≈» показывает безразличие между двумя факторами, т. е. два фактора равно значимые, знак «}» – предпочтение одного фактора другому, т. е. один из факторов более значим, чем другой, для корневого элемента иерархии (F_0). Совокупность символов и факторов образует систему отношений предпочтений. В нашем случае, данная система выглядит следующим образом:

$$\Phi = \{F_1 \} F_2 \approx F_3 \} F_4\} \qquad (2)$$

и задается по результатам факторного анализа. Сравнивается вклад каждого из факторов в общую сумму дисперсии признаков следующим образом: если $\Pi_i > \Pi_{i+1}$ более чем на 10 %, то $F_i \} F_{i+1}$, если $\Pi_i > \Pi_{i+1}$ менее чем на 10 %, то $F_i \approx F_{i+1}$, где Π_i – процент объясненной дисперсии каждым фактором (или вклад фактора в общую сумму дисперсии); i – порядковый номер фактора (так Π_1 процент объясненной дисперсии первым фактором) [2].

Построим древовидную иерархию из данных факторов (рис. 1).

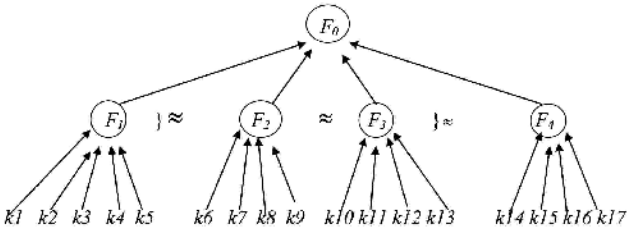


Рис. 1. Древовидная иерархия факторов

В нашем случае на основании выражения (2) и метода Фишберна [3] имеем весовые коэффициенты $\left(\frac{3}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}\right)$ для факторов F_1, F_2, F_3, F_4 соответственно.

Теперь необходимо оценить принадлежность предприятия к одному из классов по каждому из факторов (F_1, F_2, F_3, F_4). Для этого сформируем на основе показателей, отобранных с помощью указанных выше процедур, оценки принадлежности к одной из групп финансовой состоятельности по каждому фактору. Это будет *третий этап* построения модели. Для каждого фактора по показателям, его определяющим, строим функцию, обладающую наилучшей прогностической способностью. В качестве данной функции будет выступать линейная дискриминантная функция. Для ее построения проведем дискриминантный анализ (табл. 2) [2]. По его результатам у нас получились следующие функции:

$$F_1 = -0,14 \cdot k1 - 1,055 \cdot k2 + 0,441 \cdot k3 + 1,534 \cdot k4 - 1,667 \cdot k5 + 2,462, \qquad (3)$$

$$F_2 = -0,713 \cdot k6 + 0,738 \cdot k7 - 0,88 \cdot k8 + 1,658 \cdot k9 - 0,08, \qquad (3а)$$

$$F_3 = -0,063 \cdot k10 - 0,139 \cdot k11 + 0,912 \cdot k12 + 2,044 \cdot k13 + 0,802, \qquad (3б)$$

$$F_4 = 0,071 \cdot k14 - 0,008 \cdot k15 + 0,462 \cdot k16 + 3,339 \cdot k17 - 1,014. \qquad (3в)$$

Судя по значениям коэффициента корреляции (везде больше 0,5), корреляция удовлетворительная. Значимость p для всех функций меньше 0,001, что указывает на значимое различие средних значений каждой функций для каждого из классов. Высокие собственные значения (больше единицы) указывают на «хорошие» (удачно подобранные) дискриминантные функции.

Рассчитаем средневзвешенные значения между центроидами для функций факторов и получим интервалы принадлежности к классам (табл. 3, 4).

Получив интервалы принадлежности для факторов и функции для расчета их количественного значения, можно производить свертку по узлам иерархии. Для лингвистической переменной «Уровень фактора» с терм-множеством значений L вида (1) и иерархии факторов в качестве семейства функций принадлежности будет выступать стандартный трехуровневый 01-классификатор (СНК) [3], где функции принадлежности – трапециевидные треугольные числа (рис. 2):

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, 0 \le x \le 0,2, \\ 5(0,4 - x), 0,2 \le x \le 0,4, \\ 1, 0,4 \le x \le 1, \end{cases} \qquad (4)$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, 0 \le x \le 0,2, \\ 5(x - 0,2), 0,2 \le x \le 0,4, \\ 1, 0,4 \le x \le 0,6, \\ 5(0,8 - x), 0,6 \le x \le 0,8, \\ 0, 0,8 \le x \le 1, \end{cases} \qquad (4а)$$

$$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, 0 \le x \le 0,6, \\ 5(x - 0,6), 0,6 \le x \le 0,8, \\ 1, 0,8 \le x \le 1. \end{cases} \qquad (4б)$$

Таблица 1

Объясненная суммарная дисперсия

Факторы	Первичные собственные значения		
	Сумма	Процент дисперсии (П)	Совокупный процент, %
1	6,676	29,026	29,026
2	4,006	17,417	46,444
3	3,178	13,818	60,261
4	1,833	7,967	68,229

Примем $F_0 = x$, и везде в выражениях (4) x – это 01–носитель (отрезок [0, 1] вещественной оси).

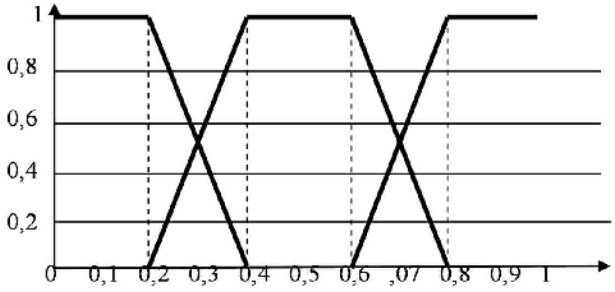


Рис. 2. Система трапециевидных функций принадлежности на 01-носителе

Стандартный классификатор осуществляет проекцию нечеткого лингвистического описания на 01-носитель, при этом делает это непротиворечивым способом, симметрично располагая узлы классификации (0,1; 0,5; 0,9). В этих узлах значение соответствующей функции принадлежности равно единице, а всех остальных функций – нулю. Неуверенность эксперта в классификации убывает (возрастает) линейно с удалением от узла (с приближением к узлу, соответственно); при этом сумма функций принадлежности во всех точках носителя равна единице.

Показатель F_0 рассчитаем посредством матричной свертки:

$$F_0 = PMV = \left(p_1\ p_2 \dots p_n\right) \times \times \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ . & . & . \\ \gamma_{1n} & \gamma_{2n} & \gamma_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,5 \\ 0,9 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где P – вектор коэффициентов факторов $\left(\frac{3}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}\right)$; $\begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,5 \\ 0,9 \end{pmatrix}$ – вектор вершин трапециевидных чисел СНК; M –

Таблица 2

Статистические выкладки для дискриминантных функций

Функция	Собственное значение	% дисперсии	Совокупный %	Каноническая корреляция	Лямбда Уилкса	Хи-квадрат	Значимость p
Для F_1	1,431	94,8	94,8	0,767	0,382	32,758	,000
Для F_2	3,316	95,6	95,6	0,877	0,201	55,403	,000
Для F_3	2,022	89,9	89,9	0,818	0,269	45,249	,000
Для F_4	3,463	96,7	96,7	0,881	0,200	55,467	,000

Таблица 3

Функции групповых центроидов

Группа	Функция в групповых центроидах			
	Для F_1	Для F_2	Для F_3	Для F_4
3 класс	1,409	2,324	1,856	2,641
2 класс	,333	–2,211	,014	–,725
1 класс	–1,286	–,223	–1,402	–1,482

Таблица 4

Интервалы принадлежности по дискриминантным функциям факторов

Интервал значения	Классификация уровня параметра	Риск банкротства по каждому из факторов
Для F_1		
$F_1 < -0,476\ 5$	Класс первый	Высокий
$-0,476\ 5 < F_1 < 0,871$	Класс второй	Средний
$0,871 < F_1$	Класс третий	Низкий
Для F_2		
$-1,217 < F_2 < 1,050\ 5$	Класс первый	Высокий
$F_2 < -1,217$	Класс второй	Средний
$1,050\ 5 < F_2$	Класс третий	Низкий
Для F_3		
$F_3 < -0,694$	Класс первый	Высокий
$-0,694 < F_3 < 0,935$	Класс второй	Средний
$0,935 < F_3$	Класс третий	Низкий
Для F_4		
$F_4 < -1,103\ 5$	Класс первый	Высокий
$-1,103\ 5 < F_4 < 0,958$	Класс второй	Средний
$0,958 < F_1$	Класс третий	Низкий

матрица принадлежности; γ – это принадлежность предприятия к одному из классов по каждому фактору по выражениям (3), (3а)–(3в). Если, например, по F_1 из выражения (3) предприятие принадлежит к первому классу, то элемент γ_{11} равен единице, а остальные элементы первой строки равны нулю. Тем же образом формируются остальные строки матрицы.

Расчетное значение сопоставим с табличными данными и оценим вероятность банкротства по лингвистическим характеристикам (табл. 5).

Результатом является лингвистическое описание степени риска банкротства предприятия и (дополнительно) степень уверенности эксперта в правильности распознавания, тем самым вывод о степени риска имеет не только лингвистическую форму, но и характеристику качества утверждений.

Построение модели для оценки риска банкротства предприятия завершено. Рассмотрим *расчетный пример*.

Для предприятия ГПКК «Бородинское» Рыбинского района, которое находилось в классе финансово-неустойчивых предприятий, но данные по этому предприятию не принимали участия в построении модели (табл. 6), рассчитаем значение факторов по формулам (3) на основании данных табл. 2.

Получаем по формулам (3), (3а)–(3в) $F_1 = -0{,}5$ – класс первый; $F_2 = -1{,}6$ – класс второй; $F_3 = -0{,}22$ класс второй; $F_4 = -0{,}32$ – класс второй;

$$F_0 = PMV = \begin{pmatrix} \frac{3}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.5 \\ 0.9 \end{pmatrix} = 0{,}35 .$$

По табл. 5 получаем, что предприятие с вероятностью 5(0,4–0,35) = 0,25 принадлежит к первому классу и вероятностью 1 – 0,25 = 0,75 ко второму классу. Предприятие характеризуется неудовлетворительным уровнем покрытия оборотных средств и запасов (по фактору $F_1 = -{,}05$ принадлежит к первому классу), неэффективным использованием собственных средств, неудовлетворительной рентабельностью и платежеспособностью (по факторам F_1, F_3 и F_4 принадлежит ко второму классу). Риск банкротства в ближайший период расценивается как средний.

По финансовым данным сельскохозяйственных предприятий, предоставленных Агентством сельского хозяйства Красноярского края, мы рассчитали значение показателя F_0 для десяти предприятий из каждого класса на следующий год и сравнили с первоначальной классификацией. Точность полных совпадений составила 85,2 %, т. е. когда предприятия, с вероятностью, равной единице, принадлежали к классу в соответствии с первоначальной классификацией. Не было зафиксировано ни одного случая, когда предприятие, принадлежавшее к классу финансово-кризисных предприятий (первый класс), по результатам анализа переходило в третий класс (финансово-устойчивые предприятия), что говорит о применимости модели для оценки риска банкротства.

Предложенная модель оценки риска банкротства может использоваться как эффективное дополнение к методам оценки финансового состояния предприятий, что позволит их финансовым службам проводить постоянный мониторинг на предмет возможного банкротства и, что особенно важно в условиях экономической неста-

Таблица 5

Классификация уровня F_0 на основе СНК

Интервал значения F_0	Классификация уровня параметра	Степень оценочной уверенности (функция принадлежности), значение ×100 %
$0 \le F_0 \le 0{,}2$	Низкий	1
$0{,}2 < F_0 < 0{,}4$	Низкий	$\mu_1 = 5(0{,}4 - F_0)$
	Средний	$1 - \mu_1 = \mu_2$
$0{,}4 \le F_0 \le 0{,}6$	Средний	1
$0{,}6 < F_0 < 0{,}8$	Средний	$\mu_2 = 5(0{,}8 - F_0)$
	Высокий	$1 - \mu_2 = \mu_3$
$0{,}8 \le F_0 \le 1$	Высокий	1

Таблица 6

Данные бухгалтерской отчетности

Показатель	Тыс. руб.	Показатель	Тыс. руб.	Показатель	Тыс. руб.	Показатель	Тыс. руб.
Выручка	16 028	Запасы	12 552	Баланс	36 937	Долгосрочные обязательства	2 023
Себестоимость	17 686	Долгосрочная дебиторская задолженность	1 967	Уставной капитал	100	Займы и кредиты	6 298
Прибыль до налогообложения	–1 658	Краткосрочная дебиторская задолженность	514	Добавочный капитал	45 606	Кредитная задолженность	36 110
Основные средства	20 132	Денежные средства	100	Чистая прибыль	–53 200	Краткосрочные обязательства	42 408
Внеоборотные активы	20 132	Оборотные средства	16 508	Капиталы и резервы	–7 494	Пассив	36 937

бильности, своевременно разработать пакет антикризисных мероприятий.

Библиографические ссылки

1. Гиляровская Л. Т. Экономический анализ : учебник для вузов / под ред. Л. Т. Гиляровской. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001.

2. Дубров А. М., Трошин Л. И., Мхитарян В. С. Многомерные статистические методы : учебник. М. : Финансы и статистика, 2000.

3. Недосекин А. О. Комплексная оценка риска банкротства корпорации на основе нечетких описаний. СПб. : Сезам, 2002. [Электронный ресурс]. URL: http://sedok.narod.ru/sc_group.html#book_2.

D. V. Parshukov, G. V. Mironov

THE MODEL RISK ASSESSMENT OF BANKRUPTCY FOR AGRICULTURAL ENTERPRISES OF KRASNOYARSK TERRITORY

In this work we consider the algorithm of development of a bankruptcy risk assessment model to be applied to agricultural firms of Krasnoyarsk Territory, which involves factorial and discriminatory analysis of relevant data.

Keywords: factors, discriminators, tree-type hierarchy, aggregation, membership functions.

© Паршуков Д. В., Миронов Г. В., 2010

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Авакумов Роман Владимирович – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, техник научно-образовательного центра космических систем и технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – физика магнитных явлений, механика твердого деформируемого тела. E-mail: ravakumov@yandex.ru.

Аникина Валентина Ильинична – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и термической обработки металлов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский институт цветных металлов имени М. И. Калинина в 1970 г. Область научных интересов – материаловедение и кристаллография, дефекты решетки. Тел. 8(391)213-32-86.

Аникина Юлия Анатольевна – старший преподаватель кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – совершенствование механизмов управления и регулирования социально-экономического развития городской агломерации. E-mail: anikinay@inbox.ru.

Барков Алексей Владимирович – кандидат технических наук, инженер-программист ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – автоматизация контроля и испытаний космической техники. E-mail: barkov@iss-reshetnev.ru.

Безруких Андрей Алексеевич – аспирант кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – технология и оборудование сварочных и наплавочных дуговых процессов. Тел. 8(391)249-75-72.

Белозерцев Владимир Семенович – доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1974 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. Тел. 8(391)262-95-61.

Беляков Сергей Андреевич – ассистент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – биотехнологии, биоэнергетика. E-mail: 24au@rambler.ru.

Бойко Оксана Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1985 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, теория автоматического управления, композиционные материалы. E-mail: bouko@sibsau.ru

Браверман Владимир Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. E-mail: braverman-vladimir@rambler.ru.

Бутова Татьяна Георгиевна – доктор экономических наук, профессор, руководитель секции маркетинга кафедры управления производством Сибирского федерального университета. Окончила Ленинградский институт советской торговли в 1983 г., Красноярский государственный университет в 1997 г. Область научных интересов – маркетинг услуг. E-mail: butova@lan.krasu.ru.

Буянов Юрий Иннокентьевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиофизики радиофизического факультета Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 1966 г. Тел. 8(3822)41-25-83.

Васильев Евгений Николаевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1979 г. Область научных интересов – теплофизика, математическое моделирование. E-mail: ven@icm.krasn.ru

Верхогляд Александр Григорьевич – заместитель директора по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам и хоздоговорной деятельности Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Новосибирский государственный университет в 1980 г. Область научных интересов – физика, оптика, лазеры. E-mail: verhog@tdisie.gsc.ru.

Власов Антон Юрьевич – кандидат физико-математических наук, заместитель директора научно-образовательного центра космических систем и технологий, доцент кафедры физики 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 – физика магнитных явлений, механика твердого деформируемого тела. E-mail: vay@atomlink.ru.

Вохмянин Сергей Владимирович – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – анализ временных рядов, программирование. Тел. 8-902-916-15-72.

Горбатенко Анна Евгеньевна – аспирант кафедры теории вероятностей и математической статистики фа-

культета прикладной математики и кибернетики Томского государственного университета. Окончила Томский государственный университет в 2007 г. Область научных интересов – теория случайных процессов, теория потоков, теория массового обслуживания. E-mail: anngo86@mail.ru.

Готовко Сергей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1983 г. Область научных интересов – материаловедение и прочность в сварке. E-mail: gefest_61@mail.ru.

Грош Светлана Анатольевна – аспирант кафедры экономической теории Красноярского государственного педагогического университета имени В. П. Астафьева. Окончила Сибирский государственный технологический университет в 2002 г. Область научных интересов – ипотека как фактор повышения качества жизни россиян в условиях рыночных отношений. E-mail: oltyr@yandex.ru.

Деревянко Виктор Валерьевич – кандидат физико-математических наук, инженер Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1998 г. Область научных интересов – теплофизика, математическое моделирование. E-mail: ws@icm.krasn.ru.

Дмитриевских Марина Вячеславовна – аспирант кафедры финансового менеджмента Южно-Уральского государственного университета. Окончила Южно-Уральский государственный университет в 2009 г. Область научных интересов – социально-экономические процессы, экономика, менеджмент. Тел. 8(351)267-86-95.

Евдокимов Александр Семенович – младший научный сотрудник научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 2007 г. Область научных интересов – механика деформируемого твердого тела. E-mail: eas1985@mail.ru.

Есюнин Виталий Васильевич – инженер-конструктор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – автоматизация контроля и испытаний космической техники. E-mail: evv@iss-reshetnev.ru.

Жуков Максим Юрьевич – аспирант Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – инвестиционный анализ. E-mail: jukovmu@mail.ru.

Загиров Николай Наильич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский институт цветных металлов имени М. И. Калинина в 1984 г. Область научных интересов – получение изделий из металлических сыпучих материалов методами обработки металлов давлением. E-mail: kafOMD_1@mail.ru.

Захаров Юрий Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного технологического университета. Окончил Одесский государственный университет имени И. И. Мечникова в 1957 г. Область научных интересов – физика конденсированного состояния, механика деформируемого твердого тела, устойчивость систем. Тел. (391)268-10-38.

Иванников Вадим Александрович – ассистент кафедры финансов и кредита Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2000 г. Область научных интересов – мировая экономика. E-mail: xkopeiiiokx@mail.ru.

Иванов Евгений Владимирович – старший преподаватель кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Государственную академию цветных металлов и золота в 1995 г. Область научных интересов – получение изделий из металлических сыпучих материалов методами обработки металлов давлением. Тел. (391)213-35-50.

Иванчура Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Томский политехнический институт в 1967 г. Область научных интересов – разработка систем управления электроприводами. E-mail: eiapu@mail.ru.

Исмайылов 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. Тел. (391)266-98-66.

Калашникова Екатерина Александровна – аспирант кафедры международного менеджмента института международного менеджмента и бизнеса Красноярского государственного аграрного университета. Окончила Красноярский государственный аграрный университет в 2007 г. Область научных интересов – экономика. E-mail: rekruttywe@mail.ru.

Капулин Денис Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – силовая преобразовательная техника, системы автоматизированного проектирования. E-mail: kapulin@gmail.com.

Карасев Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1973 г. Область научных интересов – двигателестроение. E-mail: vkarasev@zenith.ru.

Киселева Александра Владимировна – преподаватель кафедры финансового менеджмента Южно-Уральского государственного университета. Окончила Южно-Уральский государственный университет в 2007 г. Область научных интересов – недвижимость, инвестиции, экономика. Тел. 8-919-353-57-07.

Кисуркин Алексей Андреевич – заместитель мэра г. Абакана. Окончил Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева в 1985 г., Академию народного хозяйства при Правительстве РФ в 1995 г. Область научных интересов – региональная экономика. E-mail: Alexeykosurkin@invox.ru.

Князева Анна Владимировна – сотрудник научно-образовательного центра факультета экономики и предпринимательства Южно-Уральского государственного университета. Окончила Южно-Уральский государственный университет в 2007 г. Область научных интересов – экономика, аудит, оценка собственника. Тел. 8(351)267-71-22.

Ковалева Ангелина Адольфовна – кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения и термической обработки металлов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский институт цветных металлов имени М. И. Калинина в 1972 г. Область научных интересов – упрочнение, сверхпластичность металлических материалов, разрушение, стружковые, композиционные, драгоценные материалы. Тел. (391)213-32-86.

Козаченко Сергей Витальевич – директор Красноярского краевого фонда обязательного медицинского страхования. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1982 г., Кемеровский государственный университет в 1999 г., Кисловодский институт экономики и права в 2001 г. Область научных интересов – экономика социальной сферы, формирование региональных программ развития социальных отраслей, проблемы повышения эффективности использования ресурсов здравоохранения. E-mail: director@krasmed.ru.

Колбасина Наталья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и экспериментальной механики Сибирского федерального университета. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет в 1996 г. Область научных интересов – компьютерное моделирование, конечно-элементные методы расчета. Тел. 8-923-354-08-43.

Колмыков Владимир Афанасьевич – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации и управления наукоемкими производствами, генеральный директор ОАО «Красноярский машиностроительный завод», академик Международной инженерной академии. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1988 г. Область научных интересов – экономика, управление предприятиями оборонно-промышленного комплекса. Тел. 8(391)291-92-80.

Коростелева Ирина Сергеевна – магистрант института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – проектирование систем управления, автоматизация технологических процессов. E-mail: irina.korosteleva@gmail.ru.

Краев Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор Сибирского государственного аэрокосмического университета имени М. Ф. Решетнева, академик Российской академии естественных наук и Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского, член-корреспондент Академии наук высшей школы, заслуженный деятель науки и техники РФ. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – гидродинамика систем подачи энергодвигательных установок. Тел. (391)262-95-61.

Краева Екатерина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – насосные агрегаты подачи малорасходных систем ракетоносителей. E-mail: katbelka@yandex.ru.

Краснова Татьяна Григорьевна – доктор экономических наук, доцент, заместитель мэра г. Абакана по экономике. Окончила Иркутский институт народного хозяйства в 1985 г. Область научных интересов – региональная экономика. E-mail: admeconom@mail.ru.

Крат Светлана Александровна – ведущий инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники в 1991 г. Область научных интересов – моделирование светооптических схем, системы управления. E-mail: kratsv@iss-reshetnev.ru.

Кривенков Максим Владимирович – старший преподаватель кафедры электротехнических комплексов и систем политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – системы нечеткого управления электроприводами. E-mail: makskrivenko@mail.ru.

Кузьмич Роман Иванович – магистрант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – системный анализ и управление, разработка механизмов регулирования социально-экономического развития городской агломерации. E-mail: kuxrom88@mail.ru.

Лапко Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Фрунзенский политехнический институт в 1971 г. Область научных интересов – непараметрическая статистика, распознавание образов, моделирование и оптимизация систем при неполной информации. E-mail: lapko@icm.krasn.ru.

Лапко Василий Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой космических средств и технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1996 г. Область научных интересов – непараметрическая статистика, моделиро-

вание систем, непараметрические коллективы решающих правил, распознавание образов. E-mail: lapko@icm.krasn.ru.

Лопатин Александр Витальевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1979 г. Область научных интересов – механика твердого деформируемого тела. E-mail: lopatin@mail.ru.

Лубкин Иван Александрович – старший преподаватель кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – адаптивные антенные решетки, информационная безопасность. E-mail: lubkin@rambler.ru.

Лубнин Михаил Алексеевич – кандидат технических наук, профессор кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Челябинский политехнический институт в 1959 г. Область научных интересов – производство летательных аппаратов. Тел. 8(391)264-62-82.

Мейстер Роберт Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1966 г. Область научных интересов – технология и оборудование сварочных и наплавочных дуговых процессов. Тел. 8(391)249-75-72.

Мерзликина Наталья Викторовна – старший преподаватель Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 1995 г. Область научных интересов – компьютерное моделирование, конечно-элементные методы расчета. Тел. 8-913-537-41-30.

Милосердов Евгений Евгеньевич – ассистент кафедры машин и оборудования нефтегазовой промышленности института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – машиноведение, системы приводов и детали машин. E-mail: Miloserdovee@kf.sibserv.com.

Миронов Геннадий Васильевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики Красноярского государственного аграрного университета. Окончил Красноярский государственный университет в 1978 г. Область научных интересов – математика. E-mail: mgv56@yandex.ru.

Морозов Никита Владимирович – аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей 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 – двигателестроение. E-mail: nmorozov@zenith.ru.

Мочалова Людмила Алексеевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и финансов Алтайского государственного технического университета имени И. И. Ползунова. Окончила Барнаульский государственный педагогический институт в 1970 г. Область научных интересов – экономика, финансы. E-mail: mochalova-L@yandex.ru.

Назаров Анатолий Андреевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики факультета прикладной математики и кибернетики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 1970 г. Область научных интересов – исследования случайных потоков однородных событий, систем массового обслуживания, моделей компьютерных сетей. E-mail: anazarov@fpmk.tsu.ru.

Оборина Людмила Ивановна – инженер-менеджер фирмы «Союз». Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – менеджмент качества, технологическое обеспечение качества. Тел. (391)220-94-56.

Одинцова Татьяна Николаевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента туристического бизнеса Саратовского государственного технического университета. Окончила Саратовский политехнический институт в 1990 г. Область научных интересов – логистика, маркетинг и менеджмент в индустрии гостеприимства и туризма, операционная структура в гостиничном, ресторанном и туристическом бизнесе, стратегический маркетинг в туризме. E-mail: odintsova.tn@mail.ru.

Паршуков Денис Викторович – аспирант кафедры прикладной математики Красноярского государственного аграрного университета. Окончил Красноярский государственный аграрный университет в 2006 г. Область научных интересов – математика, экономика. E-mail: parshukov83mail.ru.

Патраев Валерий Елисеевич – кандидат технических наук, доцент, начальник группы отдела надежности и применения электрорадиоизделий ОАО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – надежность космических аппаратов и космических комплексов. E-mail: patraev@iss-reshetnev.ru.

Пахомов Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнических комплексов и систем политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1999 г. Область научных интересов – микропроцессорные системы управления электроприводов, модальные регуляторы. E-mail: pnalex@mail.ru.

Пацук Ольга Викторовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский технологический институт в 1993 г. Область научных интересов – региональная экономика, управление территориями. E-mail: pasuk@sibsau.ru.

Пекарский Александр Валерьевич – доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1981 г. Область научных интересов – гидродинамика систем подачи энергодвигательных установок. Тел. (391)262-95-61.

Пирогов Михаил Васильевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры здравоохранения Московского областного научно-исследовательского клинического института имени М. Ф. Владимирского. Окончил Дальневосточный политехнический институт в 1988 г., Академию госслужбы (г. Владивосток) в 1999 г. Область научных интересов – экономика здравоохранения, вопросы повышения эффективности использования ресурсов здравоохранения, проблемы и пути решения стандартизации системы здравоохранения. E-mail: pirogov.mofoms@gde.ru.

Плотникова Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой маркетинга и коммерции Хакасского института бизнеса. Окончила Красноярский государственный политехнический институт в 1988 г., Новосибирскую государственную академию строительства в 1995 г. Область научных интересов – региональная экономика. E-mail: tnplot@mail.ru.

Пономарев Сергей Васильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, 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 Евгений Александрович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1973 г. Область научных интересов – спектроскопия магнитных диэлектриков, обработка данных. E-mail: saor_popov@sibsau.ru.

Поротова Ольга Валерьевна – аспирант кафедры финансов и кредита Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – оптимизация бизнес-процессов, оценка стоимости бизнеса. E-mail: nimb16@hotmail.ru.

Пупаева Дарья Александровна – магистрант института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – проектирование систем управления, автоматизация технологических процессов. E-mail: d.pupaeva@gmail.com.

Рагозина Марина Алексеевна – старший преподаватель кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт цветных металлов имени М. И. Калинина в 1988 г. Область научных интересов – инновационный менеджмент, организация производства на предприятиях отрасли. E-mail: ragfil@mail.ru.

Решетова Татьяна Васильевна – магистрант Сибирского федерального университета. Область научных интересов – маркетинг услуг. Тел. 8(391)244-32-11.

Романов Анатолий Геннадьевич – начальник отдела антенно-фидерных устройств ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Казанский авиационный институт в 1989 г. Область научных интересов – технология создания антенно-фидерных устройств. Тел. 8(391)77-645-70.

Семушева Анастасия Юрьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики института фундаментальной подготовки Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 2000 г. Область научных интересов – комплексная переменная. E-mail: densemushev@yandex.ru.

Симонова Наталья Сергеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры композиционных материалов и физикохимии металлургических процессов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 2003 г. Область научных интересов – синтез и исследование свойств конструкционных и функциональных материалов на основе оксида кремния. E-mail:savchenkonat@mail.ru.

Смирнова Елена Валентиновна – доктор физико-математических наук, профессор кафедры финансов и кредита Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный университет в 1976 г. Область научных интересов – математическое моделирование экономических ситуаций, инвестиционный анализ. E-mail: selenval@yandex.ru.

Ступак Михаил Федорович – кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научным вопросам Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Новосибирский государственный университет в 1969 г. Область научных интересов – физика, оптика, лазеры. E-mail: stupak@tdisie.gsc.ru.

Тарасова Галина Петровна – начальник отдела сводных статистических работ территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю. Окончила Хабаровский институт народного хозяйства в 1981 г. Область научных интересов – экономика, исследование регионального рынка бытовых услуг. E-mail: enterprise@ststis.krs.ru.

Таскин Владимир Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и термической обработки металлов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский институт цветных металлов имени М. И. Калинина в 1973 г. Область научных интересов – термическая обработка цветных и черных металлов. Тел. 8(391)213-32-86.

Татьянкина Анна Андреевна – сотрудник научно-образовательного центра факультета экономики и предпринимательства Южно-Уральского государственного университета. Окончила Южно-Уральский государственный университет в 2009 г. Область научных интересов – операции с недвижимым имуществом, региональная экономика. Тел. 8(351)267-71-22.

Титов Валерий Архипович – кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1971 г. Область научных интересов – создание измельчителей материалов. Тел. 8-950-403-88-83.

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. Тел. 8(391)291-92-14.

Тупицын Илья Владимирович – аспирант кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – цифровая обработка изображений, обработка стереоснимков, геоинформационные системы. E-mail: toupitsyn@gmail.com.

Тяпкин Валерий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярское высшее командное училище радиоэлектроники в 1979 г., Военно-инженерную радиотехническую академию противовоздушной обороны имени Говорова в 1992 г. Область научных интересов – радиотехника, адаптивные антенные решетки. E-mail: tyapkin58@mail.ru.

Удальцов Ростислав Андреевич – ведущий инженер-программист ОАО «Красноярский завод холодильников «Бирюса». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – информационные технологии. E-mail: awam@nekto.com.

Федорова Ирина Ивановна – заместитель руководителя территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю. Окончила Хабаровский институт народного хозяйства в 1980 г. Область научных интересов – экономика, сохранение конкурентоспособности машиностроительных холдинговых объединений. E-mail: enterprise@statis.krs.ru.

Филатов Антон Александрович – кандидат технических наук, начальник оптофизической лаборатории ООО «НПП «Волоконно-оптическое лазерное оборудование». Окончил Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики в 1999 г. Область научных интересов – расчет и моделирование оптических систем. E-mail: filatov@volo.ru.

Халиманович Владимир Иванович – заместитель генерального конструктора, директор отраслевого центра трансформируемых механических систем ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Казанский авиационный институт в 1964 г. Область научных интересов – механика конструкций космических аппаратов. Тел. 8(39197)6-46-11.

Христич Валерий Васильевич – начальник отдела тепловакуумных испытаний ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», доцент кафедры космического машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Ленинградский военно-механический институт в 1965 г. Область научных интересов – тепловакуумные испытания космических аппаратов. E-mail: hristich@iss-reshetnev.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.

Шаймарданов Лев Гайнуллович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы. Окончил Куйбышевский авиационный институт в 1966 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей. Тел. (391)294-65-29.

Шиндина Татьяна Александровна – доктор экономических наук, заведующий кафедрой финансового менеджмента Южно-Уральского государственного университета. Окончила Южно-Уральский государственный университет в 1996 г. Область научных интересов – экономика и управление. Тел. 8-912-89-489-22.

Шипилов Геннадий Вениаминович – заместитель начальника отдела ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Красноярский политехнический институт в 1970 г. Область научных интересов – проектирование и испытания конструкций антенн космических аппаратов. Тел. 8(39197)6-41-24.

Шишов Владимир Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и математического моделирования Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончил Красноярский государственный университет в 1993 г. Область научных интересов – прикладная статистика, информационные системы, дендроклиматология. E-mail: vlad.shishov@gmail.com.

Шукшина Екатерина Евгеньевна – аспирант Красноярского государственного аграрного университета. Окончила Красноярский государственный педагогический университет в 2003 г. Область научных интересов – информационные системы в обучении, модели данных и алгоритмы. E-mail: katerok2000@mail.ru.

Энгель Екатерина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и систем Хакасского государственного университета имени Н. Ф. Катанова, докторант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова. Область научных

интересов – нейроинформатика, нечеткая логика. E-mail: angel@khsu.ru.

Янкина Ирина Александровна – кандидат экономических наук, профессор кафедры финансов и кредита Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Иркутский институт народного хозяйства в 1982 г. Область научных интересов – денежно-кредитные потоки, стоимостное мышление. E-mail: yankiha@kgtei.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА 3

Васильев Е. Н., Деревянко В. В. Математическая модель процессов теплообмена в сотовой панели с тепловыми трубами 4

Горбатенко А. Е., Назаров А. А. Исследование полумарковского потока в условии предельно редких изменений его состояний 8

Евдокимов А. С., Буянов Ю. И., Пономарев С. В., Шипилов Г. В., Халиманович В. И. Совместный расчет механических и электродинамических характеристик зонтичных рефлекторов 11

Захаров Ю. В., Власов А. Ю., Авакумов Р. В. Продольное перемагничивание мультислойной ферромагнитной системы с немагнитной прослойкой 15

Попов Е. А. Моделирование экситон-двухмагнонных оптических возбуждений в низкомерой магнитной системе 19

Лопатин А. В., Удальцов Р. А. Симметричная потеря устойчивости композитной трехслойной пластины 23

Симонова Н. С., Семушева А. Ю., Аникина В. И., Таскин В. Ю. Исследование роста кристаллов двойного нитрата висмута–эрбия 28

Лапко А. В., Лапко В. А. Анализ свойств смеси непараметрических оценок плотности вероятности многомерной случайной величины 32

Лапко А. В., Лапко В. А. Свойства непараметрической оценки уравнения разделяющей поверхности в задаче распознавания образов при случайных значениях коэффициентов размытости ядерных функций 35

Тяпкин В. Н., Лубкин И. А. Использование рекуррентных адаптивных алгоритмов для решения задачи подавления активно-шумовых помех в системах спутниковой связи 39

Пахомов А. Н., Кривенков М. В., Иванчура В. И. Модальные регуляторы электропривода постоянного тока с широтно-импульсным преобразователем 43

Капулин Д. В., Коростелева И. С., Пупаева Д. А. Методика автоматизированного расчета параметров источников вторичного электропитания 47

Тупицын И. В. Быстрый алгоритм реконструкции промежуточных ракурсов по стереопаре 55

Вохмянин С. В. Испытание алгоритма метода «Гусеница-SSA» для восстановления временного ряда 59

Энгель Е. А. Использование интеллектуальных алгоритмов для обработки текстовой информации 62

Загиров Н. Н., Ковалева А. А., Иванов Е. В. Технология изготовления проволоки с волокнистой структурой из стружки сплава системы алюминий–магний–кремний 68

Крат С. А., Филатов А. А., Христич В. В. Тепловакуумные испытания космического аппарата: опыт создания имитатора солнечного излучения на основе современных газоразрядных ламп высокого давления 73

Шукшина Е. Е. Мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология для индивидуальной языковой подготовки специалистов 77

Милосердов Е. Е. Построение динамической модели ходового движителя роторного экскаватора 81

Ивановский А. Б., Шишов В. В. Алгоритм параметризации для модели Ваганова–Шашкина формирования годичных колец древесных растений 83

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА 89

Краева Е. М., Краев М. В., Пекарский А. В. Повышение кавитационных качеств насосного агрегата жидкостного ракетного двигателя при подаче криогенных компонентов топлива 90

Есюнин В. В., Барков А. В. Основные принципы построения испытательного стенда бортового комплекса управления для перспективных изделий ОАО «ИСС» 93

Патраев В. Е. Наземная экспериментальная отработка космического аппарата «Ямал-300К» на базе квалифицированной платформы 97

Морозов Н. В., Карасев В. П. Паровые турбины на низкокипящем рабочем теле 102

Бойко О. Г., Шаймарданов Л. Г. Метод расчета надежности авиационных систем с индивидуальным резервированием агрегатов 106

Патраев В. Е., Трифанов И. В. Анализ показателей качества и надежности при эксплуатации современных космических аппаратов 110

Бойко О. Г. О правомерности использования условных вероятностей безотказной работы и условных плотностей вероятностей отказов в математических моделях надежности агрегатов 113

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ 117

Верхогляд А. Г., Ступак М. Ф., Чугуй Ю. В. Лазерное микропрофилирование поверхности 118
Браверман В. Я., Белозерцев В. С. Зависимость рентгеновского излучения от положения луча относительно стыка при различной степени фокусировки в процессе электронно-лучевой сварки 121
Оборина Л. И., Романов А. Е., Исмаылов Б. К., Стерехов И. В., Трифанов И. В. Технологические особенности изготовления полосно-пропускающих фильтров, работающих в СВЧ-, КВЧ-диапазонах 125
Безруких А. А., Мейстер Р. А., Лубнин М. А., Готовко С. А. Исследование технологических возможностей наплавки независимой трехфазной дугой плавящимися электродами 130
Колбасина Н. А., Мерзликина Н. В., Титов В. А. Современный подход к проектированию торцевых зубчатых передач и измельчителей материалов на их основе 134

РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА 137

Колмыков В. А., Рагозина М. А. Классификация факторов, влияющих на формирование производственной программы предприятий оборонно-промышленного комплекса 138
Дмитриевских М. В., Татьянкина А. А., Шиндина Т. А. Инновационная инфраструктура региона: сущность, состав и тенденции развития 143
Смирнова Е. В., Жуков М. Ю. Методика оценки инвестиционной привлекательности региона 146
Кисуркин А. А., Плотникова Т. Н., Краснова Т. Г. Экономические ресурсы как факторы влияния на социально-экономическое развитие региона 151
Калашникова Е. А. Конкурентоспособность высшего учебного заведения на рынке образовательных услуг города Красноярска и Красноярского края 155
Пацук О. В. Методологические аспекты анализа и прогнозирования развития экономических систем 160
Поротова О. В., Янкина И. А., Смирнова Е. В. Экспресс-оценка стоимости бизнеса для принятия тактических решений в управлении предприятиями 166
Мочалова Л. А. Модель риск-ориентированной финансовой стратегии корпорации 170
Одинцова Т. Н. Логистический подход к процессу создания сервисных продуктов 175
Федорова И. И. Векторный анализ экономической эффективности холдинга 179
Аникина Ю. А., Кузьмич Р. И. Сглаживание дифференциации социально-экономического развития муниципальных образований в городской агломерации 183
Иванников В. А. Генезис теорий цикличности мировой экономики 188
Грош С. А. Эволюция ипотечных отношений на различных этапах социально-экономического развития общества 194
Князева Н. В., Киселева А. В., Шиндина Т. А. Особенности функционирования рынка недвижимости региона в посткризисный период 199
Тарасова Г. П., Бутова Т. Г., Решетова Т. В. Рынок бытовых услуг: особенности регионального развития (на примере рынка Красноярского края) 201
Козаченко С. В., Пирогов М. В. Особенности планирования бесплатной медицинской помощи на уровне регионального здравоохранения 206
Беляков С. А. Инструменты формирования биотехнологического сектора в регионе 210
Паршуков Д. В., Миронов Г. В. Модель оценки риска банкротства для сельскохозяйственных предприятий Красноярского края 216

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 221

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS 3

Vasilyev E. N., Derevyanko V. V. Mathematical model of heat exchange processes in the honeycomb panel with heat pipes 4
Gorbatenko A. E., Nazarov A. A. Research of Semimarkovian process in conditions of limit rare changes of its states 8
Evdokimov A. S., Buyanov Y. I., Ponomarev S. V., Shipilov G. V., Khalimanovich V. I. Joint calculation of mechanical and electrodynamic characteristics of umbrella antenna 11
Zakharov Yu. V., Vlasov A. Yu., Avakumov R. V. Dilatational magnetic polarity reversal of multilayer ferromagnetic system with nonmagnetic interlayer 15
Popov E. A. Modelling of existon-double-magnon opnical exitations in low-dimentional magnetic system 19
Lopatin A. V., Udaltsov R. A. Symmetric buckling of the composit three-layer plate 23
Simonova N. S., Semusheva A. Yu., Anikina V. I., Taskin V. Yu. The research of growth of crystals of double nitrate of bismuth–erbium 28
Lapko A. V., Lapko V. A. Analysis of properties of mixture of nonparametric estimations of a probability density of a multidimensional random variable 32
Lapko A. V., Lapko V. A. Properties of a nonparametric estimation of the equation of a separating surface in the pattern recognition task at casual values of fuzziness coefficients of kernel functions 35
Tyapkin V. N., Lubkin I. A. The use of recurrent adaptive algorithms for solving the problem of noise reduction in the system of satellite communication 39
Pakhomov A. N., Krivenkov M. V., Ivanchura V. I. Modal regulators of the direct current electric drive with the pulse-width converter 43
Kapulin D. V., Korosteleva I. S., Pupaeva D. A. Method of automatic calculation of the parameters of secondary power sources 47
Toupitsyn I. V. Fast algorithm for reconstruction of intermediate views from stereopair 55
Vohmyanin S. V. Testing the algorythm of the method «Caterpillar-SSA» for reestablishing of time series 59
Engel E. A. Using intelligent algorithms for the text information processing 62
Zagirov N. N., Kovalyova A. A., Ivanov E. V. Manufacturing technique of fibrous structure wire from the facing of aluminium–magnesium–silicon alloy 68
Krat S. A., Filatov A. A., Hristich V. V. Spacecraft thermal vacuum testing: an experience of creation of sunlight simulator based on the high-pressure gas-discharge lamps 73
Shukshina E. E. Multilingual adaptive learning technology for individual language training of specialists 77
Miloserdov E. E. Construction of dynamic model of running mover of rotoring dredge 81
Ivanovsky A. B., Shishov V. V. A parameterization algorithm for the Vaganov–Shashkin model of seasonal growth and tree-ring formation 83

PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING 89

Kraeva E. M., Kraev M. V., Pecarski A. V. Increase of cavitating qualities of the pump unit of the liquid rocket engine in mode of supply of cryogenic components of engine fuel 90
Esunin V. V., Barkov A. V. Underlying principles for construction of testbed for JSC «ISS» perspective satellites 93
Patraev V. E. Optimization of working off of the space vehicle «Jamal-300K» created on the basis of the recurrent platform 97
Morozov N. V., Karasev V. P. Steam turbines with low-boiling working medium 102
Boyko O. G., Shaimardanov L. G. Reliability calculation specialties for systems with individual reserving 106
Patraev V. E., Trifanov I. V. Modern spacecrafts operational reliability and quality analysis 110
Boyko O. G. About legitimacy of usage of agreed probabilities of failure-free work and agreed breakdowns probabilities densities in aggregates reliability mathematical models 113

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS 117

Verkhogliad A. G., Stupak M. F., Chugui Yu. V. Surface laser microprofiling 118
Braverman V. Ya., Belozertsev V. S. Dependence of X-ray radiation from beam position against joint with different focusing degree in the process of electron beam welding 121

Oborina L. I., Romanov A. E., Ismaylov B. K., Sterehov I. V., Trifanov I. V. Technological features of manufacturing band-pass filters working in UHF-, EHF-ranges 125
Bezrukih A. A., Meister R. A., Lubnin M. A., Gotovko S. A. Investigation of weld-deposition by means of independent three-phase arc surfacing with consumable electrodes technological opportunities 130
Kolbasina N. A., Merzlikina N. V., Titov V. A. Modern approach to the face tooth gearing and raw materials grinding 134

PART 4. ECONOMICS 137

Kolmykov V. A., Ragozina M. A. Classification of factors having influence on formation of industrial program of enterprises of defense industry complex 138
Dmitrievskyh M. V., Tatyankina A. A., Shindina T. A. Creation of an innovative infrastructure of region 143
Smirnova E. V., Zhukov M. Yu. Technique of estimation of investment appeal of a region 146
Kisurkin A. A., Plotnikova T. N., Krasnova T. G. Economic resources as factors influencing socio-economic development of a region 151
Kalashnikova E. A. Competitivenes of institution of higher education in the market of educational services of a city of Krasnoyarsk and Krasnoyarsk region 155
Patsuk O. V. Methodological aspects of analysis and forecast of economic systems' development 160
Porotova O. V., Yankina I. A., Smirnova E. V. Express-estimation of busness value for making tactical dicisions in management of enterprises 166
Mochalova L. A. The model of risk-oriented financial strategy of corporation under the conditions of crisis 170
Odintsova T. N. Process of service products creation: logistical approach 175
Fedorova I. I. Vectorial analysis of economic effectiveness of holding 179
Anikina Yu. A., Kuzmich R. I. The smoothing of social-economical differentiation in development of municipal formations in urban agglomeration 183
Ivannikov V. A. Genezis of world economics cyclicality theory 188
Grosh S. A. Evolution of mortgage relations at different stages of social-economic development of society 194
Knyazeva N. V., Kiseleva A. V., Shindina T. A. Particularity in functioning of the regional real estate market in postcrisis period 199
Tarasova G. P., Butova T. G., Reshetova T. V. The market of consumer services: features of the regional development (on example of the market of Krasnoyarsk region) 201
Kozachenko S. V., Pirogov M. V. Specifics of free care planning at level of regional public health service 206
Belyakov S. A. Tools of biotechnological sector formation in the region 210
Parshukov D. V., Mironov G. V. The model risk assessment of bankruptcy for agricultural enterprises of Krasnoyarsk territory 216

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS 221

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, шрифт 11 пт. Иллюстрации могут быть сканированы с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Не принимаются цветные иллюстрации 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: