ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 5 (38)

Красноярск 2011

ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 5 (38)

Главный редактор
доктор технических наук
Ковалев И. В.

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

доктор физико-математических наук
Сенашов С. И.

доктор технических наук
Михеев А. Е.

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

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

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

© Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2011
© Коллектив авторов, 2011

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, Е. Г. Некрасова, Т. А. Ермолаева
Редактор английского текста А. Г. Никитина
Компьютерная верстка М. А. Белоусовой
Подп. в печать 30.12.2011. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 31,4.
Уч.-изд. л. 37,0. Тираж 1000 экз. С 163/11. Заказ 87/126.
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Суховольской Ю. П.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2.

Раздел
1

МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 519.68; 538.958

С. С. Аплеснин, В. Г. Жуков, Е. А. Попов

ПРИМЕНЕНИЕ КОЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ АППРОКСИМАЦИИ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ КРИСТАЛЛОВ*

Рассмотрено применение коэволюционного алгоритма генетического программирования к решению задачи аппроксимации рефрактометрических свойств оптически прозрачных кристаллов Rb_2MnCl_4 и $NaMnCl_3$.

Ключевые слова: коэволюция, алгоритм генетического программирования, прозрачные магнетики.

Высокие темпы информатизации привели к тому, что в настоящее время появилась возможность компьютерного моделирования и проектирования сложных систем, изучения их свойств и управления ими в условиях неполноты информации, ограниченности ресурсов, дефицита времени. Однако для исследования характеристик любой системы математическими методами должна быть обязательно выполнена формализация, т. е. построена математическая модель. Исследования с помощью математических моделей зачастую являются единственно возможным способом изучения сложных систем и решения важнейших задач управления. Так, например, обстоит дело при изучении процессов, протекающих в течение длительного времени, – в условиях математического моделирования подобный процесс может быть исследован в ускоренном масштабе времени.

Однако на практике сложно зафиксировать свойства функциональной зависимости выходных величин от входных и еще сложнее привести аналитическое описание такой зависимости. Если экспертные знания об объекте в явном виде отсутствуют, то обычно по имеющимся статистическим данным строится некоторая вычислительная модель. Однако недостаток численной модели при всем ее удобстве для принятия решений заключается в том, что она, по сути, является «черным ящиком», т. е. моделью, в которой перечисляются входные и выходные связи системы со средой, а информация о внутренней структуре полностью отсутствует.

Решение задачи символьной регрессии могло бы значительно улучшить сложившуюся ситуацию. Символьная регрессия дает нам не только вычислительную процедуру, но и математическое выражение в символьной форме, которое можно подвергнуть содержательному анализу, упростить и уточнить. Один из самых многообещающих подходов в данном направлении – это генетическое программирование [1]. Алгоритм генетического программирования является модификацией генетического алгоритма [2]. Основное различие заключается в представлении решений. Решения в генетическом программировании могут иметь различную форму и размер, наиболее распространенное представление – это представление в виде деревьев.

При решении задачи символьной регрессии алгоритмом генетического программирования в качестве функции пригодности используют нормированную на области значений выходной зависимой переменной ошибку аппроксимации, вычисленную с использованием какой-либо метрики, например евклидовой, Миньковского и др.

Алгоритм генетического программирования, как и генетический алгоритм, является стохастической процедурой, оценка его эффективности (надежности) осуществляется усреднением количества найденных решений по многократным запускам. Однако нельзя однозначно сказать о превосходстве определенного алгоритма, но можно выявить (по большинству лучших результатов) наиболее эффективный алгоритм и проранжировать остальные алгоритмы в порядке убывания показателя надежности [3].

Но даже после многократных решений поставленной задачи остается неопределенность в выборе параметров настройки алгоритма генетического программирования. Это подтверждает тот факт, что для каждой задачи существует свой наилучший алгоритм, т. е. своя стратегия поиска решения. Также следует отметить, что не всегда имеется возможность многократного запуска алгоритма для нахождения более точного решения по многим причинам, например из-за высокой стоимости вычислений целевой функции, отсутствия времени на перезапуск алгоритма и т. д.

Поэтому необходимо выбирать конкретный алгоритм и настраивать его параметры на решаемую задачу исходя из какой-либо априорной информации или из накопленного опыта. Но выбор конкретного алгоритма и настройка его параметров сами по себе являются очень сложными задачами, при неудачном решении которых алгоритм может не справиться с поставленной перед нами целью [4].

Коэволюционный алгоритм генетического программирования. Одним из методов разрешения проблемы выбора эффективной стратегии поиска для задачи символьной регрессии с помощью алгоритма генетического программирования является использование коэволюционной стратегии, т. е. конкуренции алгоритмов за вычислительные ресурсы.

*Работа выполнена в рамках НИР Б1.25.11 по тематическому плану ЕЗН Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева и при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры России» (НИР 2011-1.2.1-113-025, 2011-1.2.2-215-021).

Основная идея коэволюционного алгоритма генетического программирования (КАГП) состоит в следующем: одновременно эволюционируют несколько субпопуляций в рамках индивидуальных алгоритмов генетического программирования, каждый из которых обладает своей стратегией поиска и самостоятельно решает поставленную задачу [5; 6]. При этом алгоритмы борются за общий вычислительный ресурс, который в течение работы коэволюционного алгоритма перераспределяется в пользу более эффективного из них через заданный интервал адаптации, выраженный в количестве поколений.

Поскольку коэволюционный алгоритм основывается на конкурирующих стратегиях алгоритмов генетического программирования, то для субпопуляций необходимо ввести функцию пригодности. С помощью этой функции определяется лучшая популяция и ей дается больше ресурса для решения задачи. Пусть T – интервал адаптации, $b(k) = (k_T, k_{T-1}, \ldots, k_1)$ – вектор длиной T. Если i-я популяция в момент k содержит наилучшего (по всем популяциям) индивида, то $b_i(k) = 1$, иначе $b_i(k) = 0$. Качество популяции можно оценить по формуле [7]:

$$q_i = \sum_{k=0}^{T-l} \frac{T-k}{k+1} \cdot b_i(k) . \qquad (1)$$

Изменение размера ресурсов происходит путем сокращения субпопуляции каждого проигравшего алгоритма на некоторый процент (определенный заранее) и увеличения субпопуляции победившего алгоритма на число, равное сумме потерь проигравших алгоритмов. Каждому из алгоритмов гарантирован некоторый заранее определенный размер субпопуляции, который не может быть уменьшен, называемый социальным минимумом. Таким образом, общий ресурс, выделенный для решения задачи, остается неизменным. После перераспределения ресурса алгоритмы продолжают свою работу с субпопуляциями, в которые входят только лучшие решения из предыдущих субпопуляций. Процесс продолжается до тех пор, пока либо не выполнится критерий останова, либо не кончится ресурс, выделенный на решение задачи [7].

Задача аппроксимации рефрактометрических свойств прозрачных магнетиков. В оптически прозрачных кристаллах Rb_2MnCl_4 и $NaMnCl_3$ при низких температурах (ниже 56 и 6,5 К соответственно) устанавливается антиферромагнитный порядок магнитных моментов ионов марганца. Кристаллическая структура первого кристалла (симметрия D_{4h}^{17}) слоистая, расстояние между магнитными ионами в слоях и межслоевое расстояние сильно различаются, поэтому кристалл является магнетиком с почти идеальной двумерной магнитной структурой, позволяющей проводить модельные оценки магнитных свойств, и легкоосным антиферромагнетиком с осью легкого намагничивания, направленной вдоль оси симметрии C_4. Второй кристалл также обладает слоистой кристаллической структурой (симметрия $R\bar{3}$), но его меж- и внутрислоевой обмены близки по величине и различны по знаку. Магнитная кристаллографическая анизотропия у $NaMnCl_3$ типа «легкая плоскость». Из-за большого числа различающихся обменных параметров, определяющих магнитную структуру, расчет магнитных и магнитооптических свойств данного кристалла весьма проблематичен.

В этих кристаллах экспериментально изучались зависимости магнитного линейного двупреломления света (МЛД) от температуры [8; 9]. Для полученных результатов строилась аппроксимация с помощью коэволюционного алгоритма генетического программирования.

При решении задачи использовались следующие параметры коэволюционного алгоритма генетического программирования: терминальное множество – $\{x, C\}$, где $x \in R$, $C \in [-10;10]$; функциональное множество – {+, –, *, ÷, sin, cos, sqrt, power, ln, exp}; размер ресурса – 400; начальная глубина деревьев – 3; интервал адаптации – 5; размер штрафа – 10 %; размер социального минимума – 10; количество индивидуальных алгоритмов – 4.

Двупреломление света в Rb_2MnCl_4. Анализ температурной зависимости линейного двупреломления (ЛД) Rb_2MnCl_4 (рис. 1) показывает, что свет распространяется перпендикулярно оси кристалла C_4, длина волны света λ = 632,8 нм. Однако отсутствие дополнительных сведений о коэффициентах расширения и магнитострикции кристалла не позволяет выделить магнитный вклад в ЛД. Аномальное изменение ЛД при температурах ниже 200 К можно связать с наличием в кристалле магнитного порядка и считать, что температурная производная ЛД $d\Delta n/dT$ (рис. 2) представляет собой лишь незначительно искаженную производную магнитного вклада в Δn .

Согласно общему выводу феноменологический теории, ЛД должно быть пропорционально второй степени компонент антиферромагнитного вектора или, в случае коллинеарного двухподрешеточного антиферромагнетика с малой анизотропией, квадрату подрешеточной намагниченности. Однако сравнение температурного хода ЛД с температурной зависимостью квадрата намагниченности подрешеток показывает их существенное расхождение в окрестности и выше темперетуры Нееля T_N. Если подрешеточная намагниченность в окрестности T_N быстро убывает и обращается в нуль, то магнитный вклад в ЛД существует при температурах, значительно превышающих T_N. Последнее указывает на большую величину среднеквадратичных флуктуации вектора l в парамагнитной фазе, отражающую влияние ближнего магнитного порядка и являющуюся следствием низкой размерности магнитного порядка кристалла.

Для более наглядного определения влияния низкой размерности магнитного порядка ЛД можно описать в терминах, зависящих от спинов поляризуемостей ионов.

Полная поляризуемость кристалла, зависящая от спинов, имеет вид

$$\Delta n_m = A\sum_j \left\langle (S_j^z)^2 \right\rangle + B\sum_{j,l} \left\langle (\vec{\mathbf{S}}_j \vec{\mathbf{S}}_l) \right\rangle^*, \qquad (2)$$

где A и B – константы, связанные соответственно с величиной одно- и двухионных поляризуемостей кристалла; S_j^z – проекция на ось z спина S_j, расположенного на j-м узле.

Из (1) следует, что если одноионные поляризуемости малы по сравнению с двухионными, то Δn_m пропорционально магнитной энергии кристалла, а $d\Delta n_m / dT \approx c_m$. Оценить зависимость $c_m(T)$ при высоких температурах можно, используя высокотемпературное разложение в ряд по степеням $x = J/(k_B T)$, где J – обменный параметр; k_B – константа Больцмана. Для этого нужно пренебречь межплоскостным обменом и рассматривать высокотемпературное разложение c_m для плоской квадратной решетки.

Минимизируя $\left\| (d\Delta n/dT)_{\text{КАГП}} - (d\Delta n/dT)_{\text{мод}} \right\|_{L_2}$ по параметру внутрислоевого обменного взаимодействия между ионами марганца J, можно получить его оценку. Такая минимизация дает значение $J/k_B = -5,66$ К.

Однако между экспериментальным и модельным результатами, представляющими высокотемпературное разложение, существует значительное различие (рис. 3). Намного лучше аппроксимирует экспериментальные точки зависимость, полученная с помощью коэволюционного алгоритма генетического программирования (сплошная жирная кривая на рис. 2–4).

Нижняя кривая на рис. 2 представляет разницу между модельной зависимостью, определенной для плоской квадратной решетки, и аналитическим выражением, полученным коэволюционным алгоритмом генетического программирования. Эта разница может быть использована для интерпретации несовпадения модельного описания и эксперимента, поскольку она включает в себя неучтенный решеточный вклад, т. е. вклад, связанный с отступлением от двумерного порядка в магнитной подсистеме и т. д.

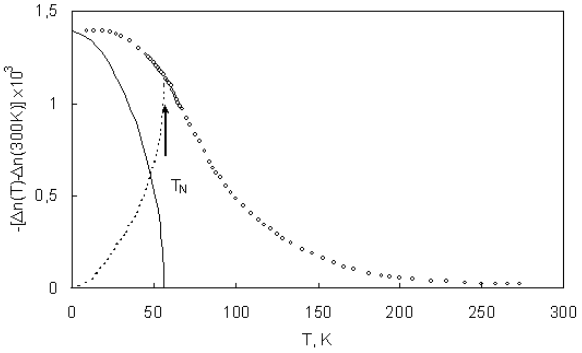


Рис. 1. Температурное поведение Δn Rb_2MnCl_4: сплошная кривая – ход кривой квадрата подрешеточной намагниченности

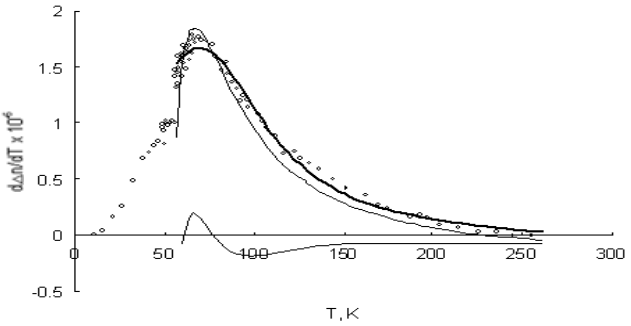


Рис. 2. Зависимость $d\Delta n/dT$ Rb_2MnCl_4 от температуры: сплошная тонкая кривая соответствует высокотемпературному разложению c_m (магнитной теплоемкости) для $J/k = -5,66$ К; сплошная жирная кривая – аппроксимация, полученная коэволюционным алгоритмом генетического программирования; нижняя кривая – различие модели и аппроксимации

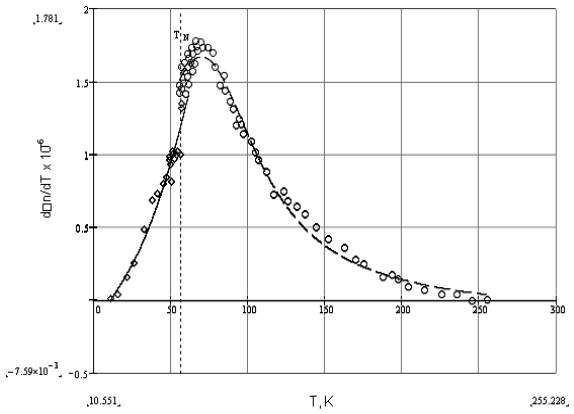


Рис. 3. Зависимость $d\Delta n/dT$ Rb_2MnCl_4 от температуры до (◊) и после (○) фазового перехода: —— и – – – результат работы алгоритма

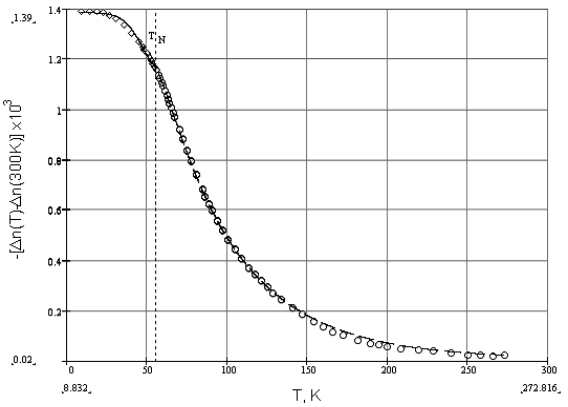


Рис. 4. Температурное поведение Δn Rb_2MnCl_4 до (◊) и после (○) фазового перехода: —— и – – – результат работы алгоритма

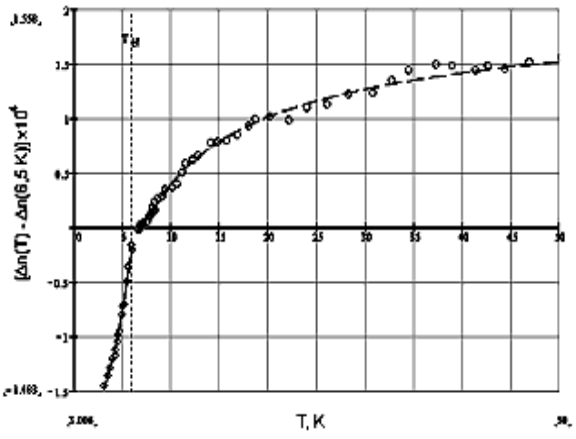


Рис. 5. Температурная зависимость линейного двупреломления света в $NaMnCl_3$ до (○) и после (◊) фазового перехода (длина световой волны λ = 632,8 нм):
—— и – – – результат работы алгоритма

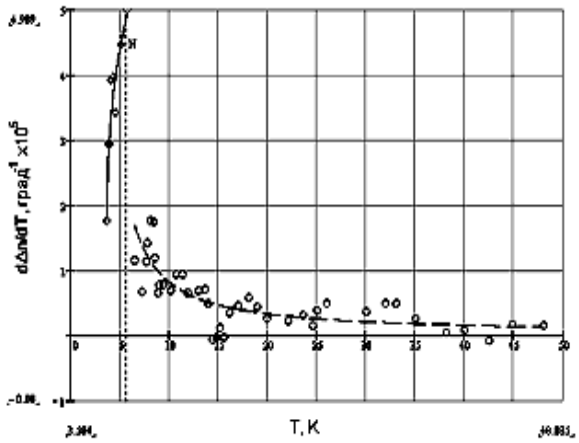


Рис. 6. Температурная зависимость производной линейного двупреломления $NaMnCl_3$ до (○) и после (◊) фазового перехода:
—— и – – – результат работы алгоритма

Двупреломление света в $NaMnCl_3$. Результаты измерений линейного двупреломления Δn $NaMnCl_3$, приведенные к $T = 6{,}5$ К (рис. 5), показали следующее.

Поскольку температура Дебая $NaMnCl_3$ значительно превышает T_N, то можно считать, что вклад в Δn за счет расширения решетки мал. Тогда изменение Δn при низких температурах ($T < 50$ К) будет обязано только магнитному вкладу, в том числе и стрикционному, и изменение $\Delta n(T)$ можно считать магнитным двупреломлением Δn_m.

При $T_N = 6{,}5$ К на кривой $\Delta n_m(T)$ наблюдается излом, который соответствует установлению в кристалле магнитного порядка. Ниже T_N происходит аномально быстрое изменение Δn, связанное с ростом подрешеточных намагниченностей. При $T > T_N$ на кривой $\Delta n(T)$ появляется хвост, который тянется до температур $T \approx 40$ К и обязан ближнему магнитному порядку в кристалле – долгоживущим флуктуациям вектора l.

Принимая во внимание пропорциональность Δn_m магнитной энергии кристалла, а следовательно, и $\left(d\Delta n_m/dT\right) \approx c_m$, проанализируем особенности поведения $d\Delta n_m/dT$ $NaMnCl_3$ (рис. 6). Для этого сравним ее с поведением теплоемкости c_m, рассчитанной для слоистых магнитных систем с различным внутри- и межплоскостным обменом.

Для $NaMnCl_3$ получаем, что $c_m \approx T^3$ при $T \ll 3$ К, а при более высоких температурах ($T < T_N$) $c_m \approx T$. При T_N кривая $d\Delta n_m/dT$ имеет острый максимум, характерный для трехмерных гейзенберговских антиферромагнетиков. При $T > T_N$ $d\Delta n_m/dT$ имеет вид, отличный от поведения c_m двумерных систем (например, Rb_2MnC_4).

Учитывая симметрию кристалла и феноменологические особенности магнитной структуры, получим выражения для компонент симметричного тензора диэлектрической проницаемости ε_{ij}, описывающие рефрактометрические свойства кристалла:

$$
\begin{gathered}
\varepsilon_{xx} = \varepsilon^0_{xx} + 2\lambda_2\mathbf{l}^2 + 2\lambda_4 l_z^2 + 2\lambda_9 l_z l_y + 2\lambda_{10} l_z l_x + \\
+ 2\lambda_{11}(l_x^2 + l_y^2) + +2\rho_2\mathbf{m}^2 + 2\rho_4 m_z^2 + 2\rho_9 m_z m_y + \\
+ 2\rho_{10} m_z m_x + 2\rho_{11}(m_x^2 + m_y^2), \\
\varepsilon_{yy} = \varepsilon^0_{yy} + 2\lambda_2\mathbf{l}^2 + 2\lambda_4 l_z^2 - 2\lambda_9 l_z l_y - 2\lambda_{10} l_z l_x - \\
- 2\lambda_{11}(l_x^2 + l_y^2) + 2\rho_2\mathbf{m}^2 + 2\rho_4 m_z^2 - 2\rho_9 m_z m_y - \\
- 2\rho_{10} m_z m_x - 2\rho_{11}(m_x^2 + m_y^2), \\
\varepsilon_{zz} = \varepsilon^0_{zz} + 2\lambda_1\mathbf{l}^2 + 2\lambda_3 l_z^2 + 2\rho_1\mathbf{m}^2 + 2\rho_3 m_z^2, \\
\varepsilon_{yz} = \lambda_5 l_z^2 l_y^2 + \lambda_6 l_z l_x + \lambda_7(l_x^2 - l_y^2) - 2\lambda_8 l_x l_y + \\
+\rho_5 m_z m_y + \rho_6 m_z m_x + \rho_7(m_x^2 - m_y^2) - 2\rho_8 m_x m_y, \\
\varepsilon_{xz} = \lambda_5 l_z^2 l_x^2 - \lambda_6 l_z l_y + \lambda_7 l_x l_y + 2\lambda_8(l_x^2 - l_y^2) + \\
+\rho_5 m_z m_x - \rho_6 m_z m_y + \rho_7 m_x m_y + 2\rho_8(m_x^2 - m_y^2), \\
\varepsilon_{xy} = 2\lambda_9 l_z l_x - 2\lambda_{10} l_z l_y + 4\lambda_{11} l_x l_y + 2\rho_9 m_z m_x - \\
- 2\rho_{10} m_z m_y + 4\rho_{11} m_x m_y,
\end{gathered}
\tag{3}
$$

где ε^0_{ij} – значения диагональных компонент тензора диэлектрической проницаемости в парамагнитной фазе; λ и ρ – магнитооптические коэффициенты.

Выражения (3) полностью описывают состояние оптической индикатрисы кристалла в магнитоупорядоченной фазе. Однако теоретически рассчитать температурное поведение λ и ρ невозможно, поскольку выражения (3) описывают влияние дальнего порядка на ε_{ij}. Получить флуктуационный вклад в парафазе из модельных соображений также нереально, так как магнитная система имеет сложную структуру и размерность, переходную от 2 к 3. Потому описание этой системы аналитическими соотношениями, получен-

ными коэволюционным алгоритмом генетического программирования, представляется полезным. Испытание алгоритма на тестовых примерах показывает, что при правильном выборе функционального множества алгоритм находит функцию, генерирующую выборку. Эта дает надежду получить символьное соотношение, являющееся истинным законом, описывающим реальные физические данные, имеющие сложную природу.

Таким образом, применение коэволюционного алгоритма генетического программирования позволило построить хорошие аппроксимации рефрактометрических свойств оптически прозрачных кристаллов Rb_2MnCl_4 и $NaMnCl_3$. Исходя из сравнения аппроксимирующих соотношений и модельных описаний определена величина обменного взаимодействия между магнитными ионами. Выделен вклад в рефрактометрические свойства магнетика в парафазе, обусловленный механизмами, не связанными с флуктуациями вектора антиферромагнетизма.

Библиографические ссылки

1. Koza J. R. Genetic Programming: On Programming Computer by Means of Natural Selection and Genetics. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1992.

2. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. 2nd ed. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1992.

3. Жуков В. Г. Моделирование сложных систем коэволюционным алгоритмом генетического программирования : дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2006.

4. Жуков В. Г. О синтетической модели эволюции дифференцированного алгоритма генетического программирования // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. науч. тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. М. : Физматлит, 2011. Т. 2. С. 616–622.

5. Об эволюционных алгоритмах решения сложных задач оптимизации / А. В. Гуменникова, М. Н. Емельянова, Е. С. Семенкин, Е. А. Сопов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М. Ф. Решетнева : сб. науч. тр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Вып. 4. Красноярск, 2003. С. 14–23.

6. Жуков В. Г., Жукова М. Н. Исследование коэволюционного алгоритма решения нестационарных задач оптимизации // Вестник СибГАУ. 2006. Вып. 1 (8). С. 27–30.

7. Семенкин Е. С., Лебедев В. А. Метод обобщенного адаптивного поиска для синтеза систем управления сложными объектами. М. : Макс-Пресс, 2002.

8. Попов Е. А., Котлярский М. М. Двупреломление антиферромагнитного Rb_2MnCl_4 // Физика твердого тела. 1980. Т. 20. С. 241–244.

9. Popov E. A., Kotlyarskii M. M. Magnetic Phase Diagram of $NaMnCl_3$ // Phys. Stat. Sol. (b). 1982. Vol. 111. P. K13–K19.

S. S. Aplesnin, V. G. Zhukov, E. A. Popov

COEVOLUTIONARY GENETIC PROGRAMMING ALGORITHM APPLICATION IN APPROXIMATION PROBLEM OF APPROXIMATION OF REFRACTOMETRIC PROPERTIES OF OPTICAL TRANSPARENT CRYSTALS

The authors consider the coevolution genetic programming algorithm application in the problem of approximation of refractometric properties of optical transparent crystals Rb_2MnCl_4 and $NaMnCl_3$.

Keywords: coevolution, genetic programming algorithm, transparent magnets.

© Аплеснин С. С., Жуков В. Г., Попов Е. А., 2011

УДК 519.68

С. С. Аплеснин, В. Г. Жуков, Е. А. Попов, Ю. Ю. Логинов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАЗОВЫХ ГРАНИЦ МАГНИТНОГО СОСТОЯНИЯ КРИСТАЛЛА*

Проведено исследование эффективности коэволюционного алгоритма генетического программирования. Рассмотрено его применение в решении задачи моделирования фазовых границ магнитного состояния кристалла.

Ключевые слова: коэволюция, алгоритм генетического программирования, прозрачные магнетики.

Результаты исследования алгоритма генетического программирования (ГП) показывают, что нельзя однозначно говорить о превосходстве какого-то конкретного алгоритма ГП и даже после многократных решений задачи остается неопределенность в выборе параметров метода ГП [1]. Это подтверждает то, что для каждой задачи существует свой алгоритм с наилучшей стратегией поиска. А выбор конкретного алгоритма и настройка его параметров сами по себе являются очень сложными проблемами.

Для устранения подобных проблем необходимо разрабатывать процедуры, автоматизирующие подстройку параметров ГП в ходе однократного решения задачи. Одной из таких процедур является использование коэволюционных стратегий, т. е. конкуренции алгоритмов ГП за ресурс [2; 3].

Основная идея коэволюционного алгоритма состоит в одновременной эволюции нескольких субпопуляций, каждая из которых решает свою задачу символьной регрессии и обладает своей стратегией поиска (моделирования). При этом субпопуляции борются за общий ресурс, который в течение работы алгоритма перераспределяется в пользу более эффективной из них.

Коэволюционный алгоритм состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Выбор индивидуальных алгоритмов.

Шаг 2. Инициализация параметров коэволюционного алгоритма.

Шаг 3. Работа индивидуальных алгоритмов ГП в течение заданного интервала адаптации.

Шаг 4. Проверка критерия остановки: если данный критерий срабатывает, то выводится лучшее найденное решение и алгоритм прекращает работу; иначе – переход на шаг 6.

Шаг 5. Оценка алгоритмов.

Шаг 6. Перераспределение ресурса (на основе оценки, полученной на шаге 5).

Шаг 7. Переход на шаг 3.

Использование в коэволюционном алгоритме конкурирующих стратегий алгоритмов предполагает, что для субпопуляций необходимо ввести функцию пригодности, с помощью которой будет определяться лучшая субпопуляция с предоставлением ей большего ресурса для решения задачи. Пусть T – интервал адаптации, $b(k) = (k_T, k_{T-1}, \ldots, k_1)$ – вектор длиной T. Если i-я популяция в момент k содержит наилучшего (по всем популяциям) индивида, то $b_i(k) = 1$, в противном случае $b_i(k) = 0$. Качество популяции можно оценить по формуле [4]:

$$q_i = \sum_{k=0}^{T-1} \frac{T-k}{k+1} \cdot b_i(k) . \qquad (1)$$

Размеры ресурсов изменяются за счет сокращения каждой проигравшей популяции на некоторое число индивидов, т. е. определенный заранее размер штрафа, и увеличения победившей популяции на число, равное сумме потерь проигравших. Таким образом, общее число индивидов остается неизменным. Сокращение проигравших популяций осуществляется только до тех пор, пока они не достигнут минимального гарантированного размера – социального минимума.

В связи с тем что ГП является стохастической процедурой, оценка его эффективности осуществляется усреднением по многократным запускам. В качестве критерия сравнения может быть использован показатель надежности – процент успешных запусков алгоритма от общего числа запусков алгоритма. При этом в состав коэволюционного алгоритма индивидуальные алгоритмы включаюттся случайным образом.

В результате проведенного авторами исследования было выявлено, что коэволюционный алгоритм превосходит все индивидуальные алгоритмы ГП (рис. 1). Происходящий в ходе поиска процесс перераспределения ресурсов между алгоритмами, показанный на рис. 2, подтверждает правильность предположения о том, что нельзя отнимать весь ресурс у алгоритма (выгодность социального минимума), так как проигрывающие на начальных шагах алгоритмы могут в дальнейшем найти лучшее решение.

На эффективность коэволюционного алгоритма могут оказывать влияние следующие параметры: величина интервала адаптации, размер штрафа и размер социального минимума, количество индивидуальных алгоритмов.

*Работа выполнена в рамках НИР Б1.25.11 по тематическому плану ЕЗН Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева и при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры России» (НИР 2011-1.2.1-113-025, 2011-1.2.2-215-021).

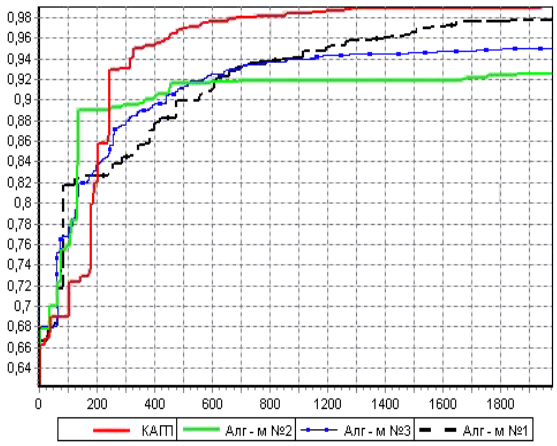


Рис. 1. Пример поведения лучшего индивида: коэволюционный алгоритм ГП показан плошной жирной линией

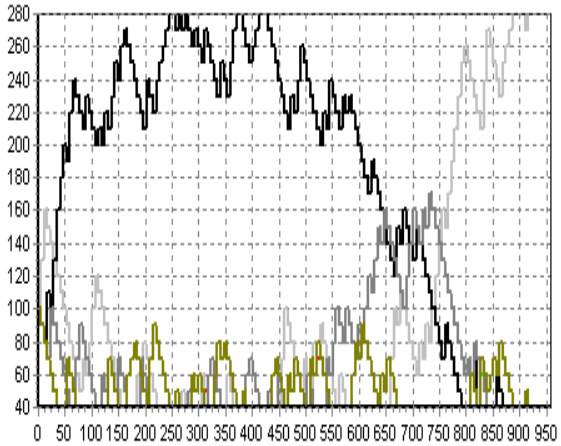


Рис. 2. Пример перераспределения ресурса в ходе работы коэволюционного алгоритма ГП

В ходе исследования было установлено, что использование такого параметра, как размер штрафа, равного некоторому проценту от величины популяции индивидуального алгоритма, неэффективно, так как данная величина является фиксированной и не зависит от количества индивидуальных алгоритмов. Однако такой штраф будет эффективным в случае, когда размер популяции индивидуального алгоритма равен 100 индивидам. Уменьшение или увеличение этой величины отрицательно сказывается на эффективности работы коэволюционного алгоритма.

Для разрешения этой проблемы предложена следующая процедура расчета размера штрафа в зависимости от количества индивидуальных алгоритмов ГП и общего числа индивидов (рис. 3):

$$Z = \left(\frac{SpCA}{100} \cdot zh \right) \cdot 2^{-(N/2)}, \qquad (2)$$

где Z – количество индивидов, на которое будут штрафоваться проигравшие индивидуальные алгоритмы; $SpCA$ – общее число индивидов; zh – устанавливаемый пользователем размер штрафа в процентах; N – количество индивидуальных алгоритмов.

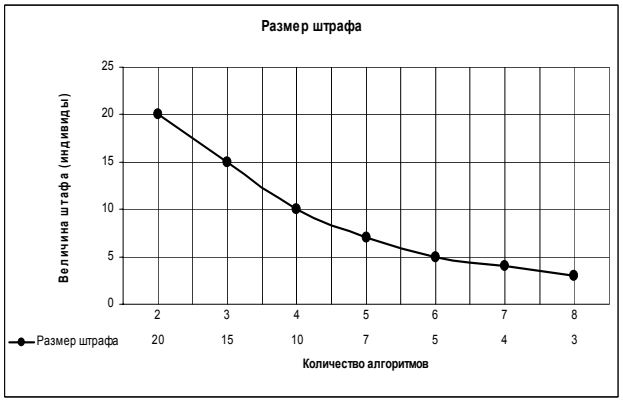


Рис. 3. Функция изменения штрафа в зависимости от количества индивидуальных алгоритмов

Изменение процедуры вычисления размера штрафа привело к тому, что величина социального минимума, как и размер штрафа, также должна зависеть от общего числа индивидов. Поэтому было принято решение устанавливать величину социального минимума как некоторый процент от общего числа индивидов, задаваемого пользователем.

Таблица 1

Результаты исследования зависимости эффективности коэволюционного алгоритма от размеров штрафа и социального минимума

Социальный минимум/штраф, %	2	4	6	8	10	12	14	16
2	15	20	20	5	10	5	20	10
4	10	15	10	20	10	25	10	5
6	5	10	25	20	25	20	15	5
8	15	5	15	15	15	20	5	15
10	20	25	15	20	45	40	20	15
12	10	5	20	25	30	25	15	5
14	15	10	15	10	20	15	15	0
16	0	5	5	10	15	10	5	10

Для того чтобы установить характер зависимости эффективности коэволюционного алгоритма от значений его параметров и выработать рекомендации по их настройке, были проведены:

– исследование эффективности коэволюционного алгоритма в зависимости от величины штрафа и социального минимума (табл. 1);

– исследование зависимости эффективности коэволюционного алгоритма от величины интервала адаптации (табл. 2);

– исследование зависимости эффективности коэволюционного алгоритма от количества индивидуальных алгоритмов (табл. 3).

Таблица 2

Результаты исследования зависимости эффективности коэволюционного алгоритма от величины интервала адаптации

Интервал адаптации	N_3, %	N_2, %	N_1, %
2	15	75	10
3	10	60	30
4	35	55	10
5	45	50	5
6	25	65	10
7	10	85	5
8	15	75	10
9	5	80	15
10	10	75	15

Таблица 3

Результаты исследования зависимости эффективности коэволюционного алгоритма от количества индивидуальных алгоритмов

Количество алгоритмов	N_3, %	N_2, %	N_1, %
2	15	80	5
3	35	50	15
4	45	50	5
5	40	50	10
6	35	50	15
7	30	50	20
8	20	60	20

Примечание. В табл. 2 и 3 применяются следующие обозначения:

– N_1 – количество запусков, в которых было получено решение с ошибкой аппроксимации больше 5 %, в процентах от общего количества запусков;

– N_2 – количество запусков, в которых было получено решение с ошибкой аппроксимации больше 1 %, но меньше 5 %, в процентах от общего количества запусков;

– N_3 – количество запусков, в которых было получено решение с ошибкой аппроксимации меньше 1 %, в процентах от общего количества запусков.

В табл. 1–3 в качестве примера приведены наиболее информативные результаты тестовой функции $\sin(x)$ на интервале [–3,14; 3,14] со случайным шагом, объем тестовой выборки равен 100 точкам. В качестве функционального множества использовались только арифметические операции (+, –, *, /), терминальное множество содержало переменную x и набор констант на интервале [–1; 1] со случайным шагом.

В результате исследования эффективности работы коэволюционного алгоритма ГП в зависимости от параметров, входящих в его настройку, было установлено, что:

– коэволюционный алгоритм ГП всегда лучше самого худшего из алгоритмов и даже лучше чем средний алгоритм по показателям надежности;

– коэволюционный алгоритм ГП позволяет автоматически выбирать лучшую стратегию из имеющихся и включать ее в необходимый момент;

– не нужно сильно штрафовать (размер штрафа 10…12 %) проигравшие алгоритмы, но в то же время не надо оставлять им больших социальных гарантий;

– интервал адаптации необходимо выбирать равным 4…5;

– количество индивидуальных алгоритмов должно быть 3…6;

– в случае полного отсутствия знаний о предпочтительности выбора индивидуальных алгоритмов даже комбинация из практически неработающих алгоритмов, худших по надежности в сравнении с другими алгоритмами, имеет большую надежность, чем надежность каждого из этих алгоритмов по отдельности;

– 75 % решений по показателю N_2 имеют ошибку аппроксимации меньше 1,6 %, т. е. коэволюционный алгоритм ГП позволяет получать достаточно хорошие аппроксимации;

– коэволюционный алгоритм генетического программирования практически на порядок превосходит по скорости нахождения решения метод генетического программирования.

Результаты работы коэволюционного алгоритма ГП с применением предложенных выше настроек представлены в табл. 4. Точное решение в табл. 4 означает, что алгоритм нашел точную структуру заданной тестовой функции.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о полезности и перспективности коэволюционного алгоритма, который позволяет автоматически выбирать лучшую стратегию из имеющихся и включать ее в необходимый момент. Однако для подтверждения этого вывода требуется проведение дополнительной проверки на реальных задачах. Одна из них приведена ниже.

Задача построения фазовых границ магнитного состояния кристалла. При решении данной задачи использовались следующие параметры коэволюционного алгоритма генетического программирования: терминальное множество – $\{x,C\}$, где $x \in R$, $C \in [-10;10]$; функциональное множество – {+, –, *, ÷, sin, cos, sqrt, power, ln, exp}; размер ресурса – 400; начальная глубина деревьев – 3; интервал адаптации – 5; размер штрафа – 10 %; размер социального минимума – 10; количество индивидуальных алгоритмов – 4.

К сожалению, для антиферромагнетиков даже с достаточно слабым обменом (низкие температуры Нееля T_N) обменные поля имеют порядок 1 000 кЭ, а постоянные лабораторные поля достигают величин напряженности на два порядка ниже обменных. Поэтому экспериментальных данных по исследованию поведения двупреломления при изменении магнитной

структуры во внешнем магнитном поле для них практически нет. Уникальными являются данные, полученные в импульсных магнитных полях на кристаллах Rb_2MnCl_4 и $NaMnCl_3$, представленные в [5; 6]. Будучи чувствительными к магнитной структуре, рефрактометрические свойства могут быть использованы для изучения фазового состояния кристалла (рис. 4–6).

Проецируя на плоскость *H–T* критическое поле H_{SF}, при котором наблюдается скачок двупреломления при различных температурах, можно получить линию фазовых переходов первого рода, связанных с опрокидыванием магнитных моментов подрешеток в Rb_2MnCl_4 (рис. 7).

Фазовая граница между антиферромагнитной и парамагнитной фазами лежит в узком температурном интервале. Ожидаемое соотношение, описывающее уравнение границы между антиферромагнитной и парамагнитной фазами, имеет вид

$$T_N(H)/T_N(0) \approx (1 + \gamma H^2)^{\xi}, \qquad (3)$$

где $\xi = 1$ (получено в приближении молекулярного поля); $T_{тр} = 49 \pm 1{,}5$ К, $H_{тр} = 64 \pm 2$ кЭ. На этой границе сходятся линии фазовой диаграммы, разделяющие антиферромагнитную, спин-флоп и парамагнитную фазы.

Спин-волновое приближение дает оценку зависимости, описывающей границу между антиферромагнитной и спин-флоп-фазами, в виде $H_{SF} \approx T^{g}$, где $g = 3/2 - 5/2$. Полученная генетическим алгоритмом символьная зависимость (рис. 8) практически неотличима от $T^{3/2}$.

Кривые зависимости двупреломления от магнитного поля и температуры, представленные на рис. 6, можно использовать для построения фазовых границ магнитного состояния $NaMnCl_3$. Проецируя критические поля H_c, при которых меняет знак вторая производная $\partial^2\varphi/\partial H^2$, получим линию $H_c(T)$ для критических полей, при которых происходят фазовые переходы из антиферромагнитного в парамагнитное состояние при температуре *T* (рис. 9).

Таблица 4

Результаты работы коэволюционного алгоритма ГП

№ п/п	Тестовая функция	Точное решение, %	$E < 0{,}000\,1$, %	$C(n)$	N
1	$f(x,y) = x^2 + y^2$	100	100	7	10
2	$f(x,y) = x^2 + y^2 - \cos(x) - \cos(y)$	75	100	13	116
3	$F(m_1, m_2, R) = \dfrac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$	100	100	8	7
4	$f(x,y,z) = x^2 + y^2 + z^2$	100	100	9	33
5	$f(x,y,z) = x^3 + x \cdot y + z^2$	100	100	11	76
6	$f(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{6} x_i$	100	100	11	58

Примечание. В таблице использованы следующие обозначения: *E* – ошибка аппроксимации; *C*(*n*) – количество узлов в лучшем решении; *N* – номер поколения, на котором алгоритм нашел решение с заданной точностью. Величина $d\Delta n/dT$ ведет себя как производная термодинамических потенциалов, поэтому по ее аномалиям можно определить точку фазового перехода.

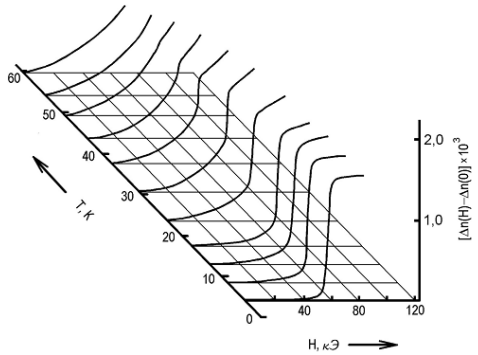


Рис. 4. Зависимость линейного двупреломления Rb_2MnCl_4 при неаксиальном направлении распространения света от магнитного поля $H \parallel C_4$ при различных температурах [5]

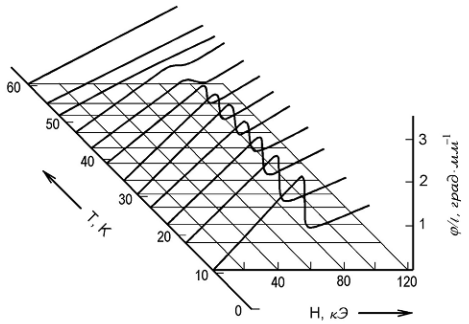


Рис. 5. Полевые зависимости кругового двупреломления света в Rb_2MnCl_4 от магнитного поля $H \parallel C_4$ с $\lambda = 632{,}8$ нм при различных температурах

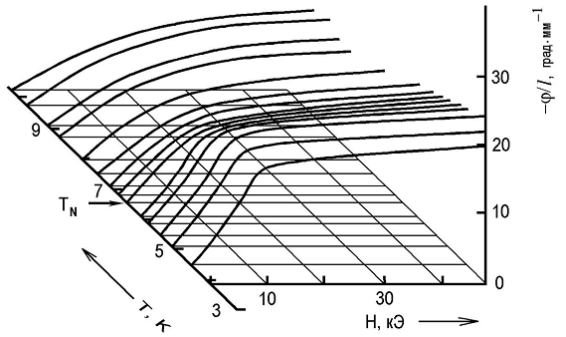


Рис. 6. Зависимости кругового двупреломления $NaMnCl_3$ от магнитного поля $H \parallel C_3$ с $\lambda = 632{,}8$ нм при различных температурах

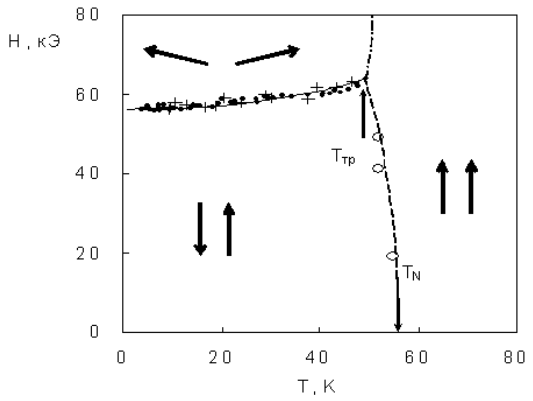


Рис. 7. Фазовая диаграмма Rb_2MnCl_4: поле H_{SF} получено с помощью линейного (+) и кругового (• и ○) двупреломления; линии графиков – схема ожидаемых фазовых границ

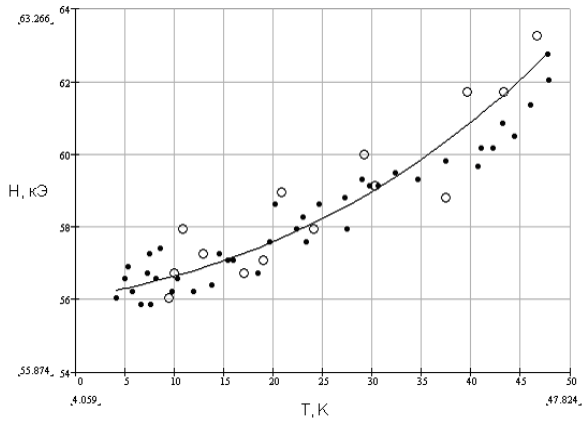


Рис. 8. Результат работы генетического алгоритма (–): поле спин-флоп перехода H_{SF} получено с помощью линейного (○) и кругового (•) двупреломления

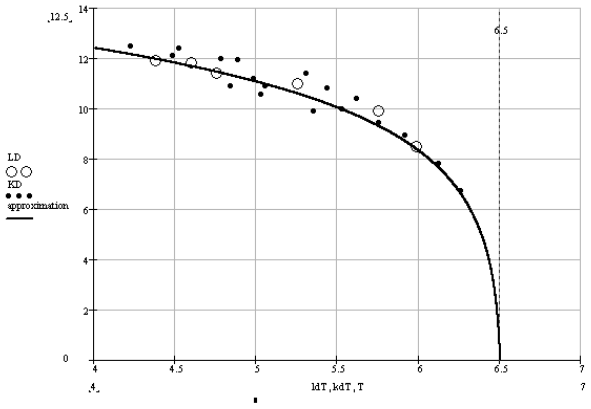


Рис. 9. Фазовая диаграмма $NaMnCl_3$, построенная с помощью алгоритма генетического программирования и основанная на экспериментальных данных по измерению двупреломления света: • – круговое двупреломления, $H \parallel C_3$; ○ – линейное двупреломления, $H \perp C_3$

Таким образом, применение коэволюционного алгоритма генетического программирования позволило построить аналитические выражения для фазовых границ магнитного состояния кристаллов Rb_2MnCl_4 и $NaMnCl_3$, на основании которых можно сделать выводы о применимости предложенных модельных оценок.

Библиографические ссылки

1. Жуков В. Г. Моделирование сложных систем коэволюционным алгоритмом генетического программирования : дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2006.

2. Об эволюционных алгоритмах решения сложных задач оптимизации / А. В. Гуменникова, М. Н. Емельянова, Е. С. Семенкин, Е. А. Сопов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М. Ф. Решетнева : сб. науч. тр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Вып. 4. Красноярск, 2003. С. 14–23.

3. Жуков В. Г., Жукова М. Н. Исследование коэволюционного алгоритма решения нестационарных задач оптимизации // Вестник СибГАУ. 2006. Вып. 1 (8). С. 27–30.

4. Семенкин Е. С., Лебедев В. А. Метод обобщенного адаптивного поиска для синтеза систем управления сложными объектами. М. : Макс-Пресс, 2002.

5. Попов Е. А., Котлярский М. М. Двупреломление антиферромагнитного Rb_2MnCl_4 // Физика твердого тела. 1980. Т. 20. С. 241–244.

6. Popov E. A., Kotlyarskii M. M. Magnetic Phase Diagram of $NaMnCl_3$ // Phys. Stat. Sol. (b). 1982. Vol. 111. P. K13–K19.

S. S. Aplesnin, V. G. Zhukov, E. A. Popov, Yu. Yu. Loginov

RESEARCH OF COEVOLUTION GENETIC PROGRAMMING ALGORITHM AND ITS APPLICATION IN THE PROBLEM OF MODEL ANALYSIS OF PHASE BOUNDARIES OF MAGNETIC STATE OF A CRYSTAL

The authors consider the research of effectiveness of coevolution genetic programming algorithm and its application in the problem of model analysis of the phase boundaries of magnetic state of a crystal.

Keywords: coevolution, genetic programming algorithm, transparent magnets.

© Аплеснин С. С., Жуков В. Г., Попов Е. А., Логинов Ю. Ю., 2011

УДК 004.421.4

К. В. Бадмаева, Т. Г. Пенькова, В. В. Ничепорчук

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ*

Рассмотрена задача проектирования специализированного хранилища данных Центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Главного управления МЧС России по Красноярскому краю. Определены основные задачи, выявлены проблемы интеграции данных для мониторинга чрезвычайных ситуаций. Сформированы требования и состав хранилища данных, предложена структура, объединяющая исторические данные и оперативную информацию системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: специализированное хранилище данных, информационная интеграция данных, мониторинг чрезвычайных ситуаций.

С целью предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера в органах управления МЧС России ежедневно обрабатывается большое количество данных ведомственных систем мониторинга и донесений аварийно-спасательных формирований. Активно внедряются системы инструментального мониторинга, позволяющие отслеживать в режиме реального времени изменения параметров окружающей среды и динамику характеристик техногенных объектов.

Повышение эффективности использования информационных ресурсов, расширение сфер мониторинга состояния территориальной безопасности и оперативность решения аналитических задач требуют консолидации мониторинговых данных, автоматизации поступления и организации доступа к ведомственным ресурсам, сокращения времени на поиск и обработку данных. Применение технологии хранилищ данных (Data Warehouses) позволяет разрешить проблемы, связанные с обеспечением доступности, согласованности и хранения гетерогенных данных, а также оперативности выполнения аналитических запросов.

В данной статье рассмотрена задача проектирования специализированного хранилища данных, создаваемого в рамках разработки программного комплекса информационно-аналитической поддержки Центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЦМП ЧС) Главного управления (ГУ) МЧС России по Красноярскому краю; определены основные задачи и выявлены проблемы интеграции мониторинговых данных; сформированы требования и состав хранилища данных; предложена структура, объединяющая исторические данные и оперативную информацию. Интеграция данных на основе консолидированного хранилища мониторинга ЧС обеспечит формирование единого информационного пространства краевой системы мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера.

Краевая система мониторинга и прогнозирования ЧС. Функционирование краевой системы мониторинга и прогнозирования (СМП) ЧС, организационное руководство ее деятельностью обеспечивает Главное управление МЧС России по Красноярскому краю при взаимодействии с территориальными службами (учреждениями) и организациями федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти Красноярского края, органов местного самоуправления муниципальных образований Красноярского края, а также организациями, в функции которых входят вопросы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования источников чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории Красноярского края (см. рисунок).

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (ГК № 02.740.11.0621 от 29 марта 2010 г.).

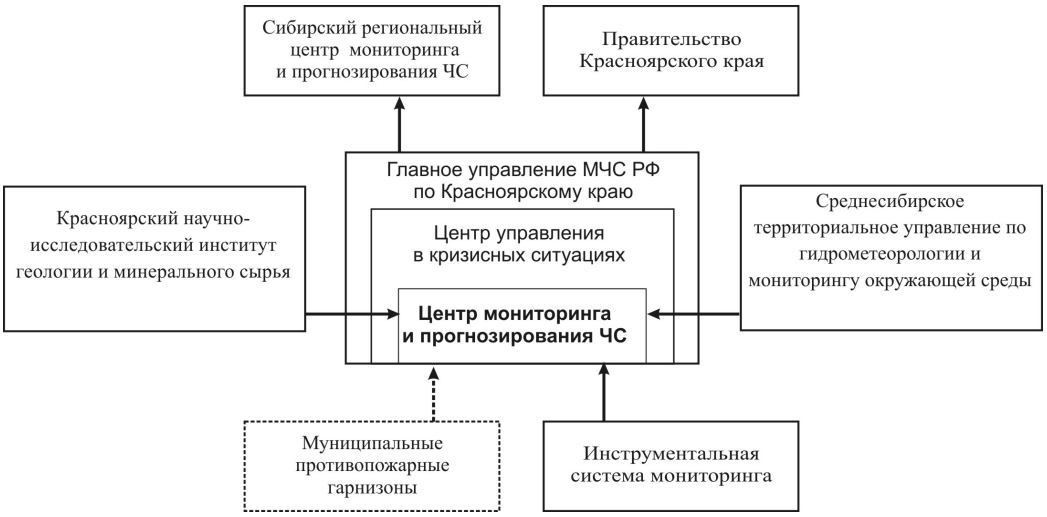


Схема информационного взаимодействия участников системы мониторинга и прогнозирования ЧС

Согласно Приказу МЧС России от 4 марта 2011 г. № 94 «Об утверждения положения о функциональной подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» и Постановлению Правительства Красноярского края от 9 февраля 2011 г. № 80-п «Об утверждении положения о краевой подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории Красноярского края», методическое руководство и координацию деятельности в рамках краевой системы мониторинга и прогнозирования ЧС осуществляет Центр мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера ГУ МЧС России по Красноярскому краю.

Основными задачами ЦМП ЧС являются:

– организация и ведение работ по мониторингу источников ЧС, лабораторному контролю и прогнозированию ЧС;

– сбор, обработка и анализ информации об источниках чрезвычайных ситуаций и показателях риска возникновения чрезвычайных ситуаций;

– подготовка и доведение прогнозной информации о возможных чрезвычайных ситуациях и их последствиях;

– контроль источников чрезвычайных ситуаций через системы мониторинга;

– организация проведения оперативных радиометрических, радиохимических, химических и других анализов объектов окружающей среды, продовольствия, питьевой воды, пищевого и фуражного сырья;

– разработка типовых сценариев возникновения и развития чрезвычайных ситуаций и оценка риска их возникновения;

– информационное обеспечение организаций и учреждений СМП ЧС прогнозными данными и рекомендациями в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;

– создание специализированных геоинформационных систем, банка данных по источникам чрезвычайных ситуаций и других информационных продуктов;

– обеспечение постоянной готовности сил и средств, предназначенных для осуществления мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

На сегодняшний день в органах МЧС России по Красноярскому краю функционирует несколько автоматизированных систем. Для поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС разработан программный комплекс ЭСПЛА-ПРО [1], работающий в двух режимах: в оперативном режиме комплекс моделирует обстановку, отображает зону ЧС на карте, формирует рекомендации по проведению спасательных работ и отчеты по формам МЧС; в повседневном режиме проводятся обработка результатов мониторинга и анализ полученных данных средствами геоинформационного моделирования и технологии OLAP. Для анализа данных мониторинга чрезвычайных ситуаций на территории Сибирского федерального округа создана система OLAP-GIS [2].

Чтобы формализовать разнородные потоки мониторинговых данных и обеспечить их эффективное использование для комплексного оперативного анализа обстановки, необходимо создать централизованные информационные ресурсы краевой системы мониторинга и прогнозирования ЧС. Интеграция информации на основе консолидированного хранилища данных мониторинга ЧС обеспечит формирование единого информационного пространства системы мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера.

Задачи и проблемы проектирования специализированного хранилища данных мониторинга ЧС. Хранилище данных (ХД) представляет собой предметно-ориентированный, интегрированный, поддерживающий хронологию, неизменчивый набор данных, организованный с целью поддержки управления [3].

Под предметной ориентированностью понимается наличие данных, характеризующих конкретную проблемную область. Интегрированность подразумевает объединение исходных данных из различных источников, при этом данные проверяются, очищаются и приводятся к единому виду. Данные в хранилище всегда связаны с определенным периодом времени, что хронологически упорядочивает информацию. Неизменчивость набора данных характеризуется тем, что данные, помещенные в хранилище, в дальнейшем не корректируются и не изменяются.

Специализированные хранилища данных содержат информацию, предназначенную для одной или нескольких задач предметной области, и могут быть подмножествами корпоративного хранилища данных или служить основой для более общего хранилища данных.

Процесс проектирования хранилищ данных, как и классическое проектирование баз данных, включает в себя последовательное выполнение этапов концептуального, логического и физического проектирования [4]. Данные в хранилище могут быть организованы различными способами с помощью таких современных технологий, как OLAP (On-Line Analytical Processing) и интеллектуального анализа данных (Data Mining) [5; 6]. Для оптимальной организации данных требуется тщательное исследование информационных потоков, состава собираемых данных и алгоритмов их обработки.

Специализированное хранилище данных мониторинга ЧС должно соответствовать следующим требованиям:

– обеспечивать решение информационно-аналитических функциональных задач ЦМП ЧС;

– обеспечивать информационный обмен между организациями и учреждениями системы мониторинга и прогнозирования ЧС, сбор и накопление мониторинговых данных;

– обеспечивать информационную интеграцию мониторинговых данных, поступающих от взаимодействующих структур;

– обеспечивать создание единых справочников и классификаторов.

Информационное наполнение ХД мониторинга ЧС должно:

– давать однозначное представление информации на основе единой системы классификации и кодирования;

– использовать принцип унификации при организации данных для их ввода, хранения и аналитической обработки;

– предоставлять возможность для поэтапного наращивания количественного и качественного состава данных.

В состав информационного обеспечения специализированного хранилища данных входят следующие элементы:

– информационная база – исторические данные и оперативная информация;

– система классификации и кодирования информации – единые справочники и классификаторы;

– унифицированные формы статистической и оперативной отчетности.

Информационная база данных представляет собой совокупность данных и массивов отчетных документов с информацией, используемой в процессе работы ЦМП ЧС и должна содержать следующие виды информации:

– оперативную информацию – информацию, которая часто используется и часто изменяется;

– условно-постоянную информацию – информацию, которая часто используется и редко изменяется;

– архивную информацию – информацию, которая редко используется и не изменяется.

Оперативная информация должна включать в себя данные по объектам жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и энергосистем, метеорологические, гидрологические, сейсмические, радиационные данные, а также данные, поступающие от системы инструментального мониторинга.

Элементами условно-постоянной информации являются:

– унифицированные формы статистической и оперативной отчетности, предназначенные для определения состава и формы представления информации по мониторингу;

– нормативно-справочная информация;

– классификаторы и справочники.

Система классификации и кодирования включает в себя:

– общероссийские и краевые классификаторы;

– отраслевые и ведомственные справочники;

– системные справочники.

Состав и содержание справочной информации должны обеспечивать автоматизацию функциональных задач ЦМП ЧС. Помимо согласования данных, собранных из различных внутренних и внешних источников, необходимо отслеживать поступление данных и обеспечивать их достоверность.

В результате исследования деятельности ЦМП ЧС и анализа взаимодействия участников СМП выявлены следующие основные проблемы интеграции данных:

– значительный объем и разнородный состав данных;

– наличие структурированных, частично структурированных и неструктурированных данных;

– большое количество внешних источников поступления данных;

– распределенная структура межведомственного взаимодействия;

– разные периоды поступления данных;

– отсутствие положений и регламентов о порядке информационного обмена между взаимодействующими структурами в рамках краевой системы мониторинга и прогнозирования ЧС.

Все эти проблемы требуют как технических, так и организационных решений, оказывающих существенное влияние на процесс автоматизации поступления ведомственных ресурсов и доступа к ним и выполнение поставленных задач.

Состав информации специализированного хранилища данных мониторинга ЧС. Одной из первоочередных задач проектирования специализированного хранилища данных является определение состава информации, что позволит систематизировать данные предметной области, сформировать структуру их хранения и обеспечить возможность для поэтапного наращивания количественного и качественного состава данных в хранилище.

С учетом большого объема информации, получаемой краевой системой мониторинга и прогнозирования ЧС, определен набор данных первой очереди специализированного хранилища, охватывающий ряд обстановок территориальной безопасности: обстановку на объектах жилищно-коммунального хозяйства, метеорологическую, гидрологическую, сейсмическую и радиационную обстановки.

Согласно указанным сферам мониторинга входные информационные потоки содержат:

– данные об организации мероприятий по контролю за подготовкой и прохождением отопительного сезона;

– данные о подготовке жилищно-коммунального хозяйства к работе в зимних условиях;

– данные о состоянии объектов жилищно-коммунального хозяйства;

– данные прогноза погоды и предупреждений об опасных и неблагоприятных погодных явлениях;

– данные по грозовой активности;

– данные о режиме рек и водохранилищ;

– данные о режиме работы гидроэлектростанций;

– данные о ледовых явлениях и прогноз вскрытия рек;

– данные об уровне весеннего половодья и об организации безаварийного пропуска паводковых вод;

– данные о зарегистрированных сейсмических событиях;

– данные о радиационном излучении.

Выходные информационные потоки содержат агрегированные данные по исходной обстановке на территории Красноярского края.

Эффективное поэтапное наращивание состава данных специализированного хранилища, а также их интеграция с историческими и оперативными данными обеспечивается за счет использования единых общероссийских, ведомственных и отраслевых справочников и классификаторов.

Одним из основных классификаторов является общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления, обеспечивающий территориальную привязку мониторинговых данных и возможность применения технологий геоинформационного моделирования [7].

Основной объем нормативно-справочной информации предоставляют отраслевые и ведомственные справочники, в которые включены следующие данные:

– о типах ЧС;

– масштабах ЧС;

– отрядах федеральной противопожарной службы;

– видах объектов ЖКХ;

– типах аварий на объектах ЖКХ;

– водозаборах;

– водопроводных сетях;

– канализационных сетях;

– теплоисточниках;

– трансформаторные подстанциях;

– метеостанциях;

– явлениях погоды;

– районах прогноза погоды;

– гидрологических постах;

– реках;

– участках вскрытия рек;

– ледовых явлениях;

– затороопасных участках;

– гидроэлектростанциях;

– гидрологических явлениях;

– сейсмостанциях;

– типах сейсмических событий;

– видах сейсмической опасности и др.

Кроме указанных справочников и классификаторов, для обеспечения централизованного сбора и аналитической обработки данных в информационный состав хранилища включены специально созданные (системные) справочники по источникам финансирования, типам и учреждениям социальной защиты, видам топлива, типам котлов котельных, типам генераторов дизельных электростанций, о характере ледостава и др.

Таким образом, определен состав специализированного хранилища данных, который основан на информационной интеграции мониторинговых данных, поступающих от взаимодействующих структур краевой системы мониторинга и прогнозирования ЧС и обеспечивающих эффективную информационную поддержку планирования, организации и контроля мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС на территории края.

Предложения по реализации специализированного хранилища данных мониторинга ЧС. В соответствии с рассмотренными выше особенностями предметной области необходима определенным образом организованная структура хранилища данных, объединяющая исторические данные и оперативную информацию, и специализированные программные средства управления хранилищем данных.

Структура хранилища данных должна отражать состав его основных информационных блоков: справочные данные, фактические данные и метаданные. Для реализации эффективного функционирования ХД необходимы специфические форматы метаданных. Метаданные должны быть организованы в отдельную структуру – репозитарий, который позволяет осуществлять быструю навигацию по различным уровням данных, и предоставлять информацию об источниках данных, операциях их обработки и агрегирования. Кроме того, метаданные должны содержать описание структур данных хранилища, структур данных, импортируемых из разных источников, сведения о периодичности импортирования, методах загрузки и обобщения данных, средствах доступа и правилах представления информации.

Структура хранилища данных должна быть оптимизирована для выполнения сложных запросов и построена на основе наиболее эффективных моделях представления данных. Эта структура должна быть основана:

– на единых правилах наименования объектов;

– единых единицах измерения для однотипных объектов;

– едином физическом представлении однотипных объектов;

– единых атрибутах представления однотипных объектах.

Программные средства управления хранилищем данных, предназначенные для накопления, хранения и предоставления централизованных информационных ресурсов на базе специализированного хранилища данных, должны обеспечить выполнение следующих функций:

– управление структурой данных: создание, удаление и редактирование основных объектов хранилища и установление связей между ними;

– управление репозитарием хранилища: создание, редактирование метаданных, их просмотр, навигации по хранилищу, использование для обработки и загрузки данных;

– предварительная обработка и импорт данных, поступающих из распределенных взаимодействующих структур;

– поддержка средств аналитической обработки мониторинговых данных;

– ведение архивов данных.

Для реализации специализированного хранилища данных системы мониторинга и прогнозирования ЧС и управления мониторинговыми данными предложено использовать разработанную в Институте вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук программную систему «Менеджер хранилища данных» [10], которая позволяет формировать структуру централизованного хранилища, осуществлять ее регулярное наполнение данными из внешних источников и обеспечивать эффективную поддержку процессов мониторинга ЧС.

Таким образом, в результате исследования деятельности Центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Главного управления МЧС России по Красноярскому краю определены основные задачи и выявлены проблемы интеграции мониторинговых данных. Сформированы требования и состав хранилища данных, предложена структура, объединяющая исторические данные и оперативную информацию. Интеграция данных на основе специализированного хранилища мониторинга ЧС обеспечит формирование единого информационного пространства краевой системы мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера. Предложенная структура организации данных в сочетании с разработанной технологической базой отвечает всем выявленным в ходе исследования требованиям и обеспечивает эффективную поддержку процессов мониторинга ЧС.

Библиографические ссылки

1. Ничепорчук В. В., Ноженков А. И., Ноженкова Л. Ф. Система комплексной поддержки управления по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций ЭСПЛА-ПРО : программа для ЭВМ. Зарег. в Роспатенте. Свидетельство об офиц. регистрации № 2009615944 от 27.10.2009.

2. Система анализа данных мониторинга чрезвычайных ситуаций OLAP-GIS : программа для ЭВМ / Л. Ф. Ноженкова, В. В. Ничепорчук, А. А. Марков, А. А. Евсюков. Зарег. в Роспатенте. Свидетельство об офиц. регистрации № 2011612987 от 14.04.2011.

3. Inmon W. Building the Data Warehouse. N. Y. : John Willey & Sons, 1992.

4. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. 7-е изд. М. : Вильямс, 2001.

5. Ноженкова Л. Ф., Шайдуров В. В. OLAP-технологии оперативной информационно-аналитической поддержки организационного управления // Информ. технологии и вычисл. системы. 2010. № 2. С. 15–27.

6. Пенькова Т. Г., Коробко А. В. Построение интегральной OLAP-модели на основе формального концептуального анализа // Информатизация и связь. 2011. № 3. С. 23–25.

7. Ноженкова Л. Ф., Евсюков А. А., Ноженков А. И. Методы управления и геоинформационного моделирования в технологии OLAP // J. of Siberian Federal Univ. Engineering & Technologies. 2009. Т. 2. С. 49–58.

8. Жучков Д. В. Автоматизация обработки больших массивов данных // Открытое образование. 2006. Прил. С. 56–62.

K. V. Badmaeva, T. G. Penkova, V. V. Nicheporchuk

LAY OUT OF SPECIALIZED DATA BANK FOR EMERGENCY MONITORING

Problem of layout of specialized data warehouse (DW) is considered. DW is created for information and analytical support of Center for Monitoring and Forecasting of Emergency Situations Main Directorate of EMERCOM of Russia in Krasnoyarsk region. The main tasks are defined, the problems of data integration for monitoring of emergencies are identified. Requirements and composition of data warehouse are formed. Structure that combines historical data and current information system for monitoring and forecasting of emergency situations is proposed.

Keywords: specialized data warehouse, informational integration of data, emergency monitoring.

© Бадмаева К. В., Пенькова Т. Г., Ничепорчук В. В., 2011

УДК 519.622:004.8.023

С. В. Бураков, Е. С. Семенкин

О РЕШЕНИИ ВАРИАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ*

Для решения вариационной задачи в символьном виде предложено использовать алгоритм генетического программирования. Описаны два варианта поиска решения. Отмечены особенности решения поставленной задачи. Представлены данные численных экспериментов, проведенных с использованием предложенного метода.

Ключевые слова: вариационная задача, обыкновенные дифференциальные уравнения, краевая задача, численные методы, алгоритм генетического программирования.

Вариационная задача состоит в нахождении функции, обеспечивающей наибольшее (наименьшее) значение заданного функционала [1]. При решении вариационной задачи обычно пользуются необходимым условием экстремума: с помощью уравнения Эйлера численно решают обыкновенное дифференциальное уравнение (ОДУ), в результате чего обычно получают экстремум функционала (если этот экстремум существует). Для решения ОДУ ставится краевая задача. В общем случае краевая задача не гарантирует существования и единственности решения, но даже если решение существует и единственно, то далеко не каждое решение ОДУ может быть представлено в квадратурах. При численном же решении краевой задачи возникают другие сложности: корректность поставленной задачи, определение устойчивости и сходимости метода и т. д.

В силу того что традиционные методы решения вариационной задачи имеют слабые стороны, необходимо разработать метод решения вариационной задачи, который мог бы объединить преимущества численного и аналитического решения, т. е. позволил бы численно получать функцию в символьном виде, которая являлась бы экстремумом для заданного функционала.

Постановка задачи. Пусть задан функционал в следующем виде:

$$v[y(x)] = \int_{x_0}^{x_1} F(x, y(x), y'(x))dx. \qquad (1)$$

Требуется определить функцию $y(x)$, доставляющую минимум (максимум) этому функционалу. Предполагается, что на заданном интервале $[x_0; x_1]$ функционал ограничен, а функция $y(x)$ дважды непрерывно дифференцируема.

Примечание 1. Если функционал задан в виде, отличном от выражения (1), то возможны два варианта решения задачи: преобразовать функционал, т. е. представить его в виде (1), или оставить его в первоначальном виде и изменить метод решения. Для простоты будем предполагать, что функционал может быть приведен к виду (1), хотя нет ограничений и для второго варианта решения задачи.

Для решения вариационной задачи можно воспользоваться эволюционной теорией, а именно алгоритмами генетического программирования (ГП) [2] как инструментом работы с бинарными деревьями.

Данную задачу можно решить двумя методами: первый основан на использовании уравнения Эйлера, т. е. необходимого условия существования экстремума, когда решение ОДУ ищется аналогично [3] (назовем его методом Эйлера), второй ищет функцию, доставляющую наименьшее значение функционала, напрямую (назовем его прямым методом).

Решение вариационной задачи методом Эйлера. Этот метод сводит решение вариационной задачи к решению краевой задачи. При этом предполагается, что функция $F(x, y(x), y'(x))$ из (1) дифференцируема трижды, а искомая функция дифференцируема дважды [1].

Пусть из поставленной задачи получено обыкновенное дифференциальное уравнение (уравнение Эйлера) в виде

$$F_y - \frac{d}{dx} F_{y'} = 0,$$

или

$$F_y - F_{xy'} - F_{yy'} y' - F_{y'y'} y'' = 0, \qquad (2)$$

и граничные условия

$$y(x_0) = Y_0, y(x_N) = Y_N, \qquad (3)$$

где $y(x)$ – искомое решение; y', y'' – производные функции $y(x)$; Y_0, Y_N – заданные вещественные константы; N – объем выборки, т. е. количество точек разбиения отрезка. Требуется найти функцию $y(x)$, удовлетворяющую уравнению (2) и граничным условиям (3).

В теории обыкновенных дифференциальных уравнений существование и единственность решения в общем случае не доказаны [4]. Но в поставленной задаче будем считать, что решение существует (для алгоритмов генетического программирования остальные требования: единственности и непрерывности по входным данным – не являются необходимыми для решения задачи).

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (НИР 2011-1.9-519.-005-042) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры России» (НИР 2011-1.2.1-113-025).

Алгоритм генетического программирования должен оперировать бинарными деревьями (в простейшем варианте), представляющими собой потенциальные решения вариационной задачи. Каждое бинарное дерево состоит из элементов функционального множества (+, –, *, /, sin, cos, exp, log) и элементов терминального множества (x или компонентов вектора X, а также вещественных коэффициентов). В случае решения специфических задач эти множества могут быть дополнены.

В общем виде схему работы алгоритма можно представить следующим образом.

Шаг 1. Инициализация начальной популяции (случайным образом).

Шаг 2. Оценка пригодности каждого индивида.

Шаг 3. Адаптация индивидов.

Шаг 4. Применение генетических операторов к имеющимся индивидам для получения новой популяции.

Шаг 5. Если критерий остановки не выполнен, то переход к шагу 2.

На шаге 1 начальная популяция инициализируется случайным образом: до заданной начальной глубины случайно выбираются элементы функционального множества и записываются в бинарное дерево, в котором выбираются унарные операторы, и дальнейшее строительство дерева продолжается по одной ветви; на заданной глубине в дерево записываются случайно выбранные элементы терминального множества. Количество индивидов в популяции также является параметром работы алгоритма и должно в некоторой степени зависеть от поставленной задачи, так как слишком большая популяция требует значительных ресурсов для своей обработки, а слишком маленькая не дает точного и надежного результата.

На шаге 2 происходит оценка каждого индивида согласно условиям поставленной задачи, при этом учитываются следующие факторы:

– соответствие функции граничным условиям;

– нарушение тождества при подстановке проверяемого решения задачи в уравнение (2);

– сложность полученной функции.

Соответствие функции граничным условиям определяет значительно более узкий круг функций, подходящих для решения вариационной задачи. При этом возможны три варианта:

– через граничные точки не проходит ни одно решение;

– проходит единственное решение;

– проходит несколько решений.

В первом варианте задача не имеет решения при поставленных краевых условиях. Второй вариант является наиболее желанным, когда решение существует и единственно. В третьем варианте нужно найти несколько решений (этот случай будет рассмотрен ниже). Самым простым способом учета граничных условий является вычисление отклонения от них с некоторым коэффициентом. В более сложных случаях может быть введена нелинейная зависимость функции пригодности от разницы между функцией и точками на границе.

Примечание 2. В случае когда решение не единственное и существует конечное число решений, можно последовательно находить решения поставленной задачи, попутно штрафуя (например, добавив при вычислении пригодности дополнительное слагаемое) те решения, которые сходятся к уже найденным или известным решениям.

Наличие тождества в уравнении (2) определяет функцию, являющуюся возможным решением задачи (1). Если функционал на этой функции достигает минимума, то уравнение Эйлера превращается в тождество. После проверки всех решений уравнения (2) (если решение не единственное) ищется локальный минимум (максимум) функционала (глобального экстремума функционал может и не достигать).

Нужно учитывать и сложность полученной функции, которая должна быть наименьшей: при идентичности графиков кривых предпочтение отдается функции, которая имеет более короткую, лаконичную запись. Поэтому функцию пригодности можно представить следующим образом:

$$\mathrm{Fit}(P_k) = \frac{1}{1 + E(P_k) + K_1 \cdot D(P_k)}, \tag{4}$$

$$E(P_k) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left| P_k(x_i) \right|}}{N} + \\ + K_2 \cdot \left[\left| y(x_0) - Y_0 \right| + \left| y(x_N) - Y_N \right| \right], \tag{5}$$

где $\mathrm{Fit}(P_k)$ – значение функции пригодности k-го индивида; $E(P_k)$ – ошибка аппроксимации, вычисляемая по всем точкам выборки, здесь N – объем выборки; K_1 – коэффициент штрафа за сложность дерева; $D(P_k)$ – число вершин дерева P_k; K_2 – коэффициент штрафа за граничные условия; $|P_k(x_i)|$ – отклонение от нуля (например, среднеквадратическое) функции F из уравнения (2), получаемое при подстановке решения P_k в ОДУ в точках (x_i), выбранных из интервала равномерно, случайно или каким-либо специальным образом; Y_0, Y_N – заданные граничные условия, $y(x_j)$ – значение функции в точке x_j.

При определении ошибки соответствия решения ОДУ требуется вычисление производных в точках выборки, которое можно выполнить двумя способами: численным (с определенным порядком малости) [5] и аналитическим – путем построения дерева производной функции и нахождения значения этой функции в точках выборки. Так как дифференцирование (в отличие от интегрирования) всегда проводится по строгим правилам, то аналитически вычислить производную не представляет особого труда. При этом нетрудно заметить, что получение численной оценки производной требует меньше машинной памяти и времени, однако аналитически вычисленная производная может быть точнее (при не слишком большом количестве операторов в функции), поэтому ме-

тод вычисления производных должен выбираться с учетом специфики решаемой задачи.

Примечание 3. В случае когда через граничные точки проходит не единственное решение, алгоритм может сойтись к какому-то одному решению. Чтобы найти остальные решения, в функцию пригодности, т. е. в знаменатель выражения (4), может быть добавлен дополнительный компонент, например такой:

$$\mathrm{Pen}(P_k) = K_3 \cdot \frac{1}{\sum_{j=1}^{M} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (S_k(x_i) - F_j(x_i))^2}}{N}},$$

где K_3 – коэффициент штрафа за приближение к известному решению; M – количество частных решений (F_j), которые известны (или найдены на предыдущем этапе), и все они не являются искомым решением или являются не всеми искомыми; S_k – проверяемое решение.

Примечание 4. В случае когда функционал представлен в виде, отличном от (1), и не сводится к нему из соображений решения конкретной задачи, функция пригодности может быть представлена в виде, отличном от (4), (5), но обеспечивающем решение задачи. Этот случай требует отдельного исследования, поэтому в данной статье не рассматривается.

На шаге 3 происходит адаптация индивидов, т. е. изменение частей бинарного дерева таким образом, чтобы значение функции пригодности было более высоким. Индивид, лучше адаптирующийся к условиям поставленной задачи, имеет лучшую пригодность, а следовательно, и более высокую вероятность быть отобранным для порождения потомков. С точки зрения теории ОДУ адаптация индивида означает изменение его частей таким образом, чтобы решение имело меньшую погрешность, т. е. означает оптимизацию этого решения – изменение вещественных коэффициентов и/или функционального набора бинарного дерева. Если зафиксировать все вершины дерева кроме какого-то одного узла, то его (дерево) можно рассматривать как функцию одной переменной. Теория оптимизации содержит много методов поиска экстремумов. Применительно к нашей задаче предлагается воспользоваться методом Хука–Дживса, отличающимся простотой и эффективностью [6]. Бинарное дерево (решение ОДУ) в общем случае может содержать много вещественных коэффициентов и узлов-операций, и это делает целесообразным проведение лишь небольшого числа итераций. Для ускорения поиска решения можно варьировать и функциональный набор, содержащийся в дереве, например при случайном изменении функционального терма, сохранить это изменение в случае улучшения или вернуться к старому терму в противном случае.

На шаге 4 применяются генетические операторы селекции, рекомбинации (скрещивания), мутации. Оператор селекции – это оператор отбора индивидов с наибольшей пригодностью. Основная идея селекции состоит в том, что более пригодные индивиды имеют больше шансов стать родителями нового решения или быть отобранными в новую популяцию. Существуют разные виды селекции: пропорциональная, турнирная, ранговая и др. Скрещивание или клонирование (вероятности скрещивания и клонирования задаются) следуют за селекцией: два отобранных индивида либо скрещиваются, либо один из них клонируется в новую популяцию. При скрещивании два дерева обмениваются поддеревьями, отсеченными в случайно выбранных точках. Это повышает вероятность того, что из деревьев с высокой пригодностью при скрещивании получатся деревья, превосходящие по пригодности родительские. Оператор мутации состоит в случайном изменении одного или нескольких узлов в дереве и рассматривается как средство восстановления генетического разнообразия за счет случайного разброса решения по поисковому пространству.

На шаге 5, если не выполнено условие остановки, следует переход на шаг 2 и повтор цикла. Условием остановки может быть как качественное ограничение – получение решения с заданной точностью, так и количественное – ограниченность ресурсов (главным образом времени).

Прямой метод решения вариационной задачи. При решении задачи (1) прямым методом схема алгоритма генетического программирования остается прежней за исключением действий, связанных с вычислением функции пригодности, поскольку пригодность оценивается по значению функционала.

Если поставлена задача минимизации функционала, то наилучшим решением является функция, которая обеспечивает его минимум. Поэтому функцию пригодности можно представить следующим образом:

$$\mathrm{Fit}(P_k) = \frac{1}{1 + E(P_k) + K_1 \cdot D(P_k) + K_2 \cdot \sum_{j=0}^{1} \left| y(x_j) - Y_j \right|}, \quad (6)$$

где $E(P_k)$ – значение функционала на заданном интервале; остальные обозначения соответствуют формулам (4), (5).

В случае если функционал представлен в виде (1), значение $E(P_k)$ может быть определено численно, например по формуле Симпсона на заданном множестве, когда последовательно находятся значения функции и производных, а затем численное значение интеграла. Полученное таким образом решение доставляет глобальный экстремум функционалу.

Однако если экстремум не достижим, т. е. функционал не ограничен снизу, на заданном множестве, то в этом случае можно говорить лишь о локальном экстремуме, найденном методом Эйлера. При этом апостериорное значение функционала ограничивается только машинной бесконечностью, что и определяет расходимость интеграла и, следовательно, неограниченность функционала.

При прямом решении вариационной задачи в отличие от решения с помощью уравнения Эйлера требуется больше машинных операций в силу того, что

сначала вычисляются значения функции и производной (как и при решении уравнения Эйлера), а потом численно находится значение функционала, что значительно увеличивает количество операций, необходимых для решения задачи, и время работы программы. Однако в отличие от метода Эйлера прямой метод позволяет находить глобальный экстремум, поэтому далее мы будем рассматривать оба метода.

Результаты численных экспериментов. Для решения поставленной вариационной задачи была разработана программная система, обеспечивающая возможность решения как прямым методом, т. е. с помощью оценки значения функционала, так и с помощью оценки решения по уравнению Эйлера. При этом общая схема алгоритма отличается только вычислением функции пригодности.

В данной программной системе существует две группы настроек. Первая группа отвечает за текущую поставленную задачу и включает в себя собственно функционал (или ОДУ, представляющее уравнение Эйлера), граничные точки (интервал и граничные условия), функциональный набор, обеспечивающий представление решения. Вторая группа содержит настройки алгоритма генетического программирования: размер популяции и число поколений, ограничивающие максимальное время работы алгоритма, вероятностные коэффициенты скрещивания, клонирования, мутации, вариант отбора (вид селекции). Оба набора настроек влияют на точность и время работы программы, однако на надежность работы алгоритма наибольшее влияние оказывают настройки алгоритма ГП. Настройки задавались таким образом, чтобы соблюдался некий компромисс между точностью, надежностью и временем работы.

Для тестирования алгоритма были решены задачи, взятые из [1; 7] (табл. 1).

Тестовые задачи были решены прямым методом и методом Эйлера. При решении каждым из методов для объективности оценки большинство настроек алгоритма были неизменными, главным образом отличались только вычисленные значения функции пригодности. При этом для каждой задачи осуществлялся 20-кратный прогон алгоритма в силу его стохастичности, а результаты были усреднены. В случае когда функционал оказывался неограниченным (а это 5 из 10 задач), задача решалась только методом Эйлера.

Пример полученного решения приведен в табл. 2. Там же отмечены номер поколения ГП, на котором было впервые найдено это решение, погрешность получаемых решений и время работы алгоритма.

Полученные решения можно разделить на три группы:

– точные решения или решения, приводимые к точным элементарными преобразованиями без округления, например

$$(((((x) \cdot (x)) - (2{,}000)) \cdot (x)) - (-1{,}000));$$

– условно точные решения, приводимые к точным элементарными преобразованиями с использованием округления, например

$$(((\sin((-4{,}000) \cdot (x))) + ((\exp(-34{,}800))/(19{,}100))) \times \\ \times (-1{,}500));$$

– приближенные решения, т. е. решения, требующие более сложных преобразований и/или имеющие сложную громоздкую, не приводимую к точному решению структуру дерева, например

$$61{,}9/(-39{,}1) \cdot \sin(\log(31{,}900) + x).$$

По результатам тестирования были вычислены средние показатели по всем задачам для каждой из групп при решении прямым методом и методом Эйлера (табл. 3).

Таблица 1

Примеры решенных задач

№ п/п	Функция $F(x, y(x), y'(x))$	Граничные условия	Точное решение	Решения, полученные алгоритмом
1	$(y')^2 + 12xy$	–3,0; 5,0 [–2; 2]	$x^3 - 2x + 1$	$((((x \cdot x) - 2{,}0) \cdot x) - (-1{,}0))$
2	$(y')^2 - y^2$	–0,7; –0,28 [–3; 3]	$1{,}5\sin(x) + 0{,}5\cos(x)$	$61{,}9/(-39{,}1) \cdot \sin(\log(31{,}900) + x)$
3	$(y')^2 + 2yy' - 16y^2$	–1,076; 1,076 [–1,7708 0,585398]	$1{,}5\sin(4x))$	$((\sin((4{,}000) \cdot (x))) \cdot (1{,}500))$
4	$xy' + (y')^2$	–4,0; –1,0 [–2; 4]	$-x^2/4 + x - 1$	$(((x \cdot ((-4) + x)) + 4)/(-4{,}0))$
5	$(y')^2x^2 + y'$	4,0; –0,667 [0,4; 6]	$2/x - 1$	$(((2{,}000) - (x))/(x))$
6	$(y')^2x + yy'$	–2,3; 1,79 [0,1; 6]	$\ln(x)$	$(\log(x))$
7	$(y')^2 - 2xy$	1,0; –1,0 [–3; 3]	$(7x - x^3)/6$	$(((x \cdot 45{,}5) + ((x \cdot x) \cdot (x \cdot (-6{,}500))))/39{,}000)$
8	$(y')^2 - y^2 + 4y\cos(x)$	0,141; 0,7 [–3; 3]	$(x + 2)\sin(x)$	$\log(\exp(\sin(x) \cdot (2{,}0 + x)))$
9	$(y')^2 - 2xy$	–0,81 2,43 [–2,5; 3,5]	$13x - x^3/6 + 2$	$((((x/(-6{,}0)) \cdot x \cdot x) + ((x + (2{,}0)) - (x/(-6{,}0)))) + x)$
10	$(y')^2 + y^2 + 2ye^x$	–4,19; –0,43[–1; 5]	$1{,}85914xe^x - 0{,}5 + 0{,}5e^{-x}$	$((-4{,}1) - ((((x/((\exp(-17{,}9)) \cdot (-24{,}4) + \cos(3{,}9))) - \\ - \exp(\sin(17{,}4))) \cdot \exp(0{,}3))/\exp(x))) + \log(36{,}6)$

Таблица 2

Результат решения задачи с 20-кратным прогоном

Полученное решение	Номер поколения ГП	Погрешность	Время, мин
$(((((x) \cdot (x)) - (2{,}000)) \cdot (x)) - (-1{,}000))$	107	0,09	52
$((1{,}000) + (((x) \cdot ((x) \cdot (x))) - ((x) + (x))))$	59	0,11	43
$((1{,}000) - (((x) + (x)) - ((x) \cdot ((x) \cdot (x)))))$	48	0,11	21
$((((1{,}000) + (((x) \cdot (x)) \cdot (x))) - (x)) - (x))$	103	0,11	53
$((((x) \cdot (x)) \cdot (x)) + ((1{,}000) - ((x) + (x))))$	78	0,11	44
$(((1{,}000) - (x)) + (((x) \cdot ((x) \cdot (x))) - (x)))$	37	0,11	17
$(((((x) \cdot (x)) - (2{,}000)) \cdot (x)) + (1{,}000))$	94	0,09	80
$(((x) \cdot (-2{,}0)) + ((((x) \cdot (x)) \cdot (x)) + (\cos((0{,}0) \cdot (x)))))$	27	0,14	20
$(((1{,}000) + (((x) \cdot (x)) \cdot (x))) - ((x) + (x)))$	24	0,11	13
$((1{,}000) + ((((x) \cdot (x)) \cdot (x)) - ((2{,}000) \cdot (x))))$	32	0,11	14
$((1{,}000) + ((x) \cdot (((x) \cdot (x)) - (2{,}000))))$	69	0,09	29
$(((((x) \cdot (x)) \cdot (x)) - ((x) + (-1{,}000))) - (x))$	37	0,11	18
$((1{,}000) + ((((x) \cdot (x)) - (2{,}000)) \cdot (x)))$	29	0,09	16
$(((\cos(-0{,}000)) - (x)) - ((x) - (((x) \cdot (x)) \cdot (x))))$	63	0,12	50
$((1{,}000) - (((x) + (x)) - (((x) \cdot (x)) \cdot (x))))$	73	0,11	48
$((((x) - ((3{,}000) \cdot (x))) + (((x) \cdot (x)) \cdot (x))) - (-1{,}000))$	58	0,13	32
$((((x) \cdot (x)) \cdot (x)) - (((x) + (x)) - (\cos((x) - (x)))))$	27	0,14	14
$(((x) \cdot ((x) \cdot (x))) - ((-1{,}000) + ((x) + (x))))$	31	0,11	17
$(((1{,}000) + (((x) \cdot (x)) \cdot (x))) - ((x) + (x)))$	35	0,11	23
$((((\cos(0{,}000)) - (x)) + ((x) \cdot ((x) \cdot (x)))) - (x))$	44	0,12	22
Среднее	53,75	0,111	31,3

Таблица 3

Результаты анализа полученных решений

Показатели	Прямой метод	Метод Эйлера
Средний процент точных решений	35	62
Средний процент условно точных решений	25	25
Средний процент приближенных решений	40	13
Среднее количество поколений ГП	127	78
Среднее время работы, мин	475	321
Количество точных решений для наиболее сложной задачи	0	10
Количество приближенных решений для наиболее сложной задачи	100	30

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что и прямой метод, и метод Эйлера имеют право на существование.

Прямой метод используется в случае поиска глобального экстремума, хотя в силу того что этот метод требует больше ресурсов и не отличается высокой надежностью (что можно объяснить накапливаемой вычислительной погрешностью при нахождении производных, а потом при численном определении значений функционала), его применение может быть обосновано только тем, что он не предполагает поиска производной более высокого порядка, как в методе Эйлера. Однако не каждую задачу можно решить таким методом, например в случае когда функционал неограничен сверху при поиске максимума (и снизу при поиске минимума), решения задачи не существует (возможно, что это свойство данного метода может быть полезно для проверки ограниченности функционала).

Метод решения вариационной задачи с помощью уравнения Эйлера, т. е. перехода от вариационной задачи к краевой, показывает лучшие результаты и по времени работы, и по надежности, поэтому он представляется более полезным. Однако нужно отметить, что поставленная краевая задача не всегда имеет решение, а если и имеет, то это решение может быть и не единственным или вообще не являться решением вариационной задачи. Поэтому такие задачи и их решения должны быть подвергнуты дополнительному анализу.

Таким образом, предложен подход, основанный на алгоритме генетического программирования, позволяющий численно решать вариационную задачу в символьном виде, и разработана программа, реализующая этот подход, которая задает функционал в символьном виде и граничные условия и решает задачу с получением точной формулы, если она существует, или приближенного символьного выражения в случае когда решение нельзя выразить элементарными функциями. Возможно точное вычисление производных путем построения производной функции или приближенное – с помощью разностных схем. Процесс решения может быть реализован двумя методами. Решения, полученные прямым методом, являются глобальными экстремумами, но в случае, когда функционал неограничен, глобального экстремума не существует и, следовательно, задачу решить нельзя. При решении методом Эйлера время работы алгоритма значительно сокращается, однако получение решения является лишь необходимым условием существования минимума или максимума (возможно, локального). Поэтому предпочтение тому или иному методу решения должно отдаваться в зависимости от условий поставленной задачи, но в целом можно отметить, что метод Эйлера может использоваться чаще.

Областью применения данного алгоритма может выступать любая отрасль науки и техники, так или иначе связанная с решением вариационной задачи. Однако этот алгоритм нужно рассматривать как дополнительный инструмент в наборе уже имеющихся традиционных методов, таких как методы Ритца, Канторовича, Галеркина и др. Нужно также отметить, что традиционные методы ориентируются на решение известных типов уравнений, что и является ограничением для их применения, поэтому эти методы и алгоритм генетического программирования нельзя сравнивать по точности или времени работы: очевидно, что традиционные методы будут быстрее, если решаемая задача удовлетворяет их теоретическим положениям. Тем не менее предложенный в данной статье алгоритм заслуживает внимания в тех случаях, когда стандартные методы не могут дать желаемого результата.

Библиографические ссылки

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

2. Koza J. R. Genetic Programming: On Programming Computer by Means of Natural Selection and Genetics. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1992.

3. Бураков С. В., Семенкин Е. С. Решение задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений методом генетического программирования // Журн. Сиб. федер. ун-та. Серия «Математика и физика». 2011. Т. 4, № 1. С. 61–69.

4. Петровский И. Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1984.

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

6. Банди Б. Методы оптимизации (вводный курс). М. : Радио и связь, 1988.

7. Краснов М. Л., Макаренко Г. И., Киселев А. И. Вариационное исчисление. Задачи и упражнения. М. : Наука, 1973.

S. V. Burakov, E. S. Semenkin

ON SOLUTION OF VARIATIONAL PROBLEM WITH GENETIC PROGRAMMING TECHNIQUES

The authors offer to use genetic programming techniques to solve variational problem. Two solving variants of finding solution are described. Features of the problem solution are considered. Results of numerical experiments are given.

Keywords: variational problem, ordinary differential equations, boundary problem, numeric methods, genetic programming algorithm.

© Бураков С. В., Семенкин Е. С., 2011

УДК 519.688

П. В. Галушин, О. Э. Семенкина

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ ДИСКРЕТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ*

Предложена модификация эволюционных методов оптимизации, позволяющая решать задачи оптимизации с дискретными переменными без предварительного преобразования исходной задачи в задачу псевдобулевой оптимизации. Исследована эффективность эволюционных методов при решении задачи формирования кредитного портфеля банка.

Ключевые слова: генетический алгоритм, мутация, селекция, дискретная оптимизация.

Задачи оптимизации постоянно возникают в практической деятельности человека. Действительно, если существует возможность выбирать параметры технической или экономической системы, то разумно сделать это самым лучшим (в смысле некоторого критерия) образом. Все более актуальными становятся сложные задачи оптимизации, т. е. задачи, в которых целевая функция не обладает свойствами гладкости, унимодальности, выпуклости, позволяющими эффективно применять классические методы оптимизации. Зачастую для целевой функции не существует даже аналитического выражения.

В качестве примера задач такого типа можно назвать задачу формирования кредитного портфеля банка [1], заключающуюся в формировании кредитного портфеля, максимизирующего прибыль банка, при наличии жестких ограничений по суммам имеющихся в наличии свободных кредитных ресурсов, процентным ставкам на выдаваемые кредиты, срокам привлечения ресурсов и максимальному размеру кредита на одного заемщика.

Пусть N – количество заемщиков; k_j – сумма кредита, запрашиваемая j-м заемщиком; t_j – срок, на который j-й заемщик берет кредит; x_j – булева переменная, принимающая значение: 1, если кредит k_j выдается, и 0, если заявка на получение кредита отклоняется банком; y_j – целочисленная переменная, показывающая, в какой промежуток времени будет выдан j-й кредит; d_j – проценты за пользование j-м кредитом; P_j – вероятность невыполнения заемщиком обязательств по возврату кредита и процентов по нему; T_i – количество дней в i-м промежутке времени (месяце); ρ – ограничение на суммарную рискованность кредитного портфеля. В предлагаемой постановке задачи предполагается два варианта обслуживания долга заемщиком: 100%-й возврат суммы кредита и процентов по нему в установленный срок либо полное отсутствие платежей в погашение кредита и процентов по нему.

Целевая функция прибыли банка после выдачи и погашения всех кредитов будет выглядеть следующим образом:

$$E(x,y)=\sum_{i=1}^{T}\sum_{j=1}^{N}\Big(\mathrm{Income}(x_j,y_j,i,k_j,t_j,d_j)-$$
$$-\mathrm{Outcome}(x_j,y_j,i,k_j)\Big),$$

где T – количество промежутков времени (месяцев), на которых осуществляется планирование; N – количество кредитных заявок; Income( ) – сумма, выплачиваемая j-м заемщиком банку в i-й промежуток времени; Outcome( ) – сумма, выплачиваемая банком j-му заемщику в i-й промежуток времени.

Переменная Outcome принимает следующие значения: если $x_j = 1$ и $y_j = i$, то нужно вернуть сумму кредита k_j, в противном случае вернуть 0.

Переменная Income вычисляется следующим образом.

Шаг 1. Если $x_j = 0$, то Income = 0. Выйти из процедуры.

Шаг 2. Если $y_j > i$, то Income = 0. Выйти из процедуры.

Шаг 3. Вычислить количество оставшихся дней до истечения срока кредита по формуле

$$\mathrm{rest}=t_j-\sum_{s=y_j}^{i-1}T_s.$$

Шаг 4. Если Rest < 0, то Income = 0. Выйти из процедуры.

Шаг 5. Вычислить количество дней в текущем i-м промежутке времени для уплаты кредита по формуле

$$\mathrm{Period}=\min\{T_i,\mathrm{Rest}\}.$$

Шаг 6. Вычислить количество денежных средств, которые выплачивает j-й заемщик банку в текущий i-й промежуток времени:

$$\mathrm{Income}=k_j\cdot 0{,}01\cdot d_j\cdot\frac{\mathrm{period}}{365}+k_j\cdot\frac{\mathrm{period}}{d_j}.$$

Средняя рискованность кредитного портфеля должна быть меньше некоторой заданной величины:

$$R(x)=\frac{\sum_{j=1}^{N}x_j\cdot P_j}{\sum_{j=1}^{N}x_j}\le\rho.$$

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (НИР 2011-1.9-519.-005-042) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры России» (НИР 2011-1.2.1-113-025, 2011-1.2.2-215-021).

Еще одним ограничением является неотрицательность наличных средств у банка в каждый промежуток времени. Пусть B_0 – собственные средства банка в начале срока, на который ведется планирование. Тогда собственные средства банка в i-й период можно определить по формуле

$$B_i(x,y) = \\ = B_{i-1} + \sum_{j=1}^{N}\Big(I(x_j, y_j, s, k_j, t_j, d_j) - O(x_j, y_j, s, k_j)\Big)$$

и должно иметь место следующее неравенство:

$$\min_{i=1...T}\{B_i\} \geq 0.$$

Для решения сложных задач оптимизации, как правило, применяются методы прямого поиска. Одним из важнейших классов этой группы методов являются генетические алгоритмы (ГА) [2], имитирующие эволюционные и генетические процессы, происходящие в популяциях живых организмов. Генетический алгоритм работает на каждой итерации не с единственным решением, а с целым коллективом решений, или популяцией (в терминологии ГА).

Среди решений текущий популяции производится отбор (селекция) перспективных особей в промежуточную популяцию, которая затем используется для порождения особей новой популяции. Существует несколько основных методов селекции: пропорциональная, ранговая и турнирная. При пропорциональной селекции вероятность прохождения решением отбора пропорциональна значению целевой функции для этого решения, а поскольку вероятность не может быть отрицательной величиной, то данный метод требует, чтобы значения целевой функции были преобразованы в неотрицательные величины. При применении ранговой селекции вероятности прохождения отбора зависят не от значений целевой функции, а от их ранга в популяции. Метод турнирной селекции заключается в том, что турнирная группа формируется случайным образом и лучшее в смысле значения целевой функции решение становится победителем турнира и проходит отбор.

На основе отобранных в ходе этапа селекции решений с помощью генетических операторов скрещивания и мутации формируются новые решения.

В ходе скрещивания два родительских решения используются для формирования нового решения. Основными методами скрещивания являются одноточечное, двухточечное и равномерное скрещивание. При одноточечном скрещивании векторы родительских решений делятся случайным образом на две части, порождаемое решение получает первую часть от первого родителя, вторую – от второго. В процедуре двухточечного скрещивания векторы родительских решений разделяются на три части, а порождаемое решение получает начальную и конечную часть от первого решения, а среднюю – от второго. Равномерное скрещивание заключается в том, что каждый ген порождаемого решения переходит от случайно выбранного родительского решения.

В ходе мутации компоненты решения с небольшой вероятностью, которую называют *вероятностью мутации*, заменяются на противоположные. Основное предназначение оператора мутации – предотвращение преждевременной сходимости алгоритма.

На псевдокоде генетический алгоритм можно описать следующим образом.

Шаг 1. Создать и оценить начальную популяцию с равномерным распределением генов.

Шаг 2. Если выполнен критерий останова, то прекратить работу.

Шаг 3. Сформировать промежуточную популяцию с помощью выбранного метода селекции.

Шаг 4. Создать новую популяцию на основе промежуточной с использованием выбранного оператора скрещивания и мутации.

Шаг 5. Перейти к шагу 2.

Вероятностный генетический алгоритм (ВГА) – это попытка создать процедуру оптимизации, имеющую схему, похожую на схему стандартного генетического алгоритма [3]. В вероятностном генетическом алгоритме явным образом (в отличие от традиционного ГА) вычисляются компоненты вектора вероятностей и отсутствует оператор скрещивания (вместо него используется оператор порождения случайного решения с заданным распределением вероятностей компонент), но сохранены генетические операторы мутации и селекции.

На псевдокоде ВГА можно представить следующим образом.

Шаг 1. Создать и оценить начальную популяцию с равномерным распределением генов.

Шаг 2. Если выполнен критерий останова, то прекратить работу.

Шаг 3. Сформировать промежуточную популяцию с помощью выбранного метода селекции.

Шаг 4. Оценить распределение вероятностей значений генов в промежуточной популяции.

Шаг 5. Создать популяцию потомков с полученным распределением вероятностей.

Шаг 6. Применить к полученным решениям оператор мутации.

Шаг 7. Создать новую популяцию на основе популяции потомков.

Шаг 8. Перейти к шагу 2.

Дальнейшим развитием идей ВГА стал асимптотический вероятностный генетический алгоритм (АВГА) [4], название которого связано с тем, что его операторы являются предельным случаем операторов вероятностного генетического алгоритма (при стремлении размера промежуточной популяции к бесконечности). В частности, процедура мутации, применяемая в АВГА, заключается в корректировке распределения (асимптотической мутации), а распределение значений генов для новой популяции вычисляется непосредственно по текущей популяции с учетом вероятностей прохождения селекции (асимптотической селекции) без статистического моделирования селекции по методу Монте-Карло. Работа АВГА осуществляется следующим образом.

Шаг 1. Создать и оценить начальную популяцию с равномерным распределением генов.

Шаг 2. Если выполнен критерий останова, то прекратить работу.

Шаг 3. Построить распределение с помощью оператора асимптотической селекции.

Шаг 4. Скорректировать распределение с помощью оператора асимптотической мутации.

Шаг 5. Создать новую популяцию с полученным распределением вероятностей. Оценить новую популяцию.

Шаг 6. Перейти к шагу 2.

Описанные выше алгоритмы являются методами псевдобулевой оптимизации, т. е. оптимизации функций с булевыми переменным и вещественными значениями. Однако ГА (или любой другой алгоритм псевдобулевой оптимизации) можно использовать для оптимизации функций дискретных и/или вещественных переменных, если совместить его с методом бинаризации, основанном на том, что дискретные и вещественные переменные кодируются (с некоторой погрешность в случае вещественных переменных) с помощью стандартного бинарного кода или грей-кода [5], а генетические операторы мутации и скрещивания действуют на бинарное представление решений. Таким образом, метод бинаризации позволяет решать задачи оптимизации со смешанными переменными с помощью методов псевдобулевой оптимизации.

Двоичная кодировка обладает еще одним преимуществом: бинарное представление решения имеет наибольшую возможную длину среди всех неизбыточных представлений данного числа, а следовательно, наибольшую возможную мощность точек, отличающихся от заданной точки одним разрядом (однососедних точек). Если использовать для кодирования грей-код, то однососедние точки естественного представления переменных перейдут в однососедние точки двоичного кода, поэтому новые локальные экстремумы у функции с двоичным представлением переменных не появятся. С другой стороны, поскольку мощность системы окрестностей будет увеличена, то некоторые локальные экстремумы могут исчезнуть.

Эволюционные алгоритмы дискретной оптимизации. Если дискретная переменная может принимать N различных значений, то для хранения ее двоичного представления потребуется $n = \left[\log_2(N)\right]$ двоичных разрядов. И если при использовании метода бинаризации количество возможных значений дискретной переменной не является целой степенью двойки, то некоторым дискретным значениям будут соответствовать две различные бинарные строки. Эта особенность метода бинаризации приводит к следующим проблемам:

– так как некоторым дискретным значениям будет соответствовать одна бинарная строка, а некоторым – две, то отдельные дискретные значения при случайном порождении будут появляться чаще, чем другие. Подобные неоднородности могут уменьшить надежность алгоритма в тех случаях, когда у оптимума будет одно бинарное представление, а у большой части малоперспективных точек – два;

– для хранения бинарного решения будет требоваться больше памяти, чем это теоретически необходимо. Конечно, избыток в 1 бит может показаться незначительным, но в современных ЭВМ бит не является адресуемой единицей, поэтому если не использовать побитовые операции, то дополнительные затраты памяти составят не менее байта. Если же служебная информация хранится для каждого гена (как, например, в вероятностном генетическом алгоритме), то дополнительных затрат памяти избежать не удастся даже с использованием манипуляций с отдельными битами, которые также увеличивают размер кода программы [6];

– бóльшее количество генов увеличивает не только затраты памяти, но и время, затрачиваемое на работу алгоритма, так как генетические операторы мутации (при прямолинейной реализации этих операторов) и скрещивания требуют обхода всех битов бинарного представления, т. е. их сложность пропорциональна количеству генов. Кроме того, в современных вычислительных машинах увеличение затрат памяти само по себе может стать причиной уменьшения быстродействия.

Таким образом, для решения задач дискретной оптимизации перспективной является идея разработки генетического алгоритма без предварительной бинаризации. Рассмотрим, каким образом для этого нужно модифицировать основные этапы эволюционных алгоритмов: порождение решений с заданным распределением, селекцию, скрещивание и мутацию.

Селекция не требует каких-либо модификаций, так как на этом этапе роль играют только значения целевой функции (или их ранги), а не представления решений. Процедуры случайного порождения решений, скрещивания и мутации, напротив, действуют на конкретное представление решения, поэтому их необходимо модифицировать. При проектировании этих операторов следует учитывать, что дискретные переменные могут быть измерены в различных шкалах: номинальной или ранговой [7].

В данной статье мы ограничимся случаем номинальных переменных, так как любую шкалу можно рассматривать как номинальную (с соответствующим огрублением результата). Кроме того, в случае не очень большого количества возможных значений различия между номинальной и ранговой шкалами будут несущественными.

Оператор мутации для номинальных переменных разумно определить следующим образом: с некоторой вероятностью (вероятностью мутации) переменной присваивается случайно выбранное значение, причем все значения выбираются с одной и той же вероятностью, так как номинальная шкала не позволяет судить

о степени близости двух значений. Оператор мутации должен вносить небольшие изменения в решения, поэтому вероятность мутации, так же как и в случае булевых переменных, следует выбирать достаточно малой.

В случае номинальных дискретных переменных можно определить аналоги всех трех основных операторов скрещивания стандартного генетического алгоритма: так как значения номинальных переменных можно только проверять на равенство, то каждый компонент решения должен переходить от одного из родительских решений.

Предложенный подход можно распространить и на вероятностный генетический алгоритм. Оценка распределения и генерация решений в соответствии с построенным распределением является довольно прямолинейной задачей, а операторы селекции и мутации ВГА не отличаются от соответствующих операторов ГА.

Исследование исходных алгоритмов и их модификаций на тестовых функциях, взятых из [3], показало преимущество эволюционных алгоритмов, использующих небинарное кодирование. Кроме небольшого увеличения средней надежности это преимущество выражалось в более точном представлении решения: в некоторых случаях этими алгоритмами было получено точное (без погрешности) решение, в то время как бинарные эволюционные алгоритмы останавливались в точках, достаточно близких к истинному оптимимуму, но не совпадающих с ним.

Численные данные для апробации на практической задаче формирования кредитного портфеля банка были взяты из [1]. В качестве альтернативы ГА и ВГА был рассмотрен мультистарт локального поиска: алгоритм локального поиска дискретной оптимизации запускался заданное число раз из случайно выбранной точки. Численные эксперименты производились при следующих настройках: размер популяции – 100; число итераций – 100; число запусков для усреднения результатов – 100; селекция – турнирная (размер турнирной группы – 2); мутация – слабая; скрещивание (в генетическом алгоритме) – равномерное. В алгоритмах, которым необходима бинаризация переменных задачи, использовался грей-код. Для учета ограничений применялся следующий метод: если доля допустимых решений в популяции была меньше определенного порога, то выполнялась минимизация по степени нарушения ограничений; если же допустимых решений было достаточно, то в качестве значения пригодности использовалось значение целевой функции, а недопустимые решения не переходили в новую популяцию.

Результаты решения задач, полученные различными методами дискретной оптимизации, приведены в таблице. Для ГА, ВГА и АВГА в скобках указан способ кодирования: двоичные гены – стандартный генетический алгоритм, троичные и десятичные гены – предложенные модификации, использующие для кодирования целочисленных переменных соответственно троичную и десятичную систему счисления.

Задача формирования кредитного портфеля банка также была решена с помощью методов PBIL (Population Based Incremental Learning – последовательное популяционное обучение) [8] и PSO (Particle Swarm Optimization – оптимизация роем частиц) [9].

Анализ данных таблицы показывает, что и генетический алгоритм, и вероятностный генетический алгоритм дискретной оптимизации по эффективности решения задачи и быстродействию превосходят свои аналоги, использующие бинаризацию. Кроме того, оба эти метода существенно эффективнее мультистарта локального поиска и метода PSO. Наилучшие результаты показал АВГА, использующий троичное кодирование. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что предложенные подход к решению задач дискретной оптимизации без предварительной бинаризации объектных переменных является состоятельным.

Результаты решения задачи формирования кредитного портфеля банка

Алгоритм	Среднее значение	Выборочное среднеквадратическое уклонение значения целевой функции	Время работы, с
Локальный поиск	5 855	206,19	0,20
ГА (двоичные гены)	6 285	27,47	7,18
ГА (троичные гены)	6 290	21,78	6,85
ГА (десятичные гены)	6 287	25,46	7,16
ВГА (двоичные гены)	6 306	19,34	7,19
ВГА (троичные гены)	6 308	20,15	7,60
ВГА (десятичные гены)	6 307	22,39	8,10
АВГА (двоичные гены)	6 316	18,13	7,60
АВГА (троичные гены)	6 318	18,70	7,38
АВГА (десятичные гены)	6 318	19,81	7,81
PBIL	6 309	16,97	7,33
PSO (дискретный)	6 267	21,27	7,85

Библиографические ссылки

1. Пуртиков В. А. Оптимизация управления формированием кредитного портфеля банка : дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2001.
2. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Reading, Mass. : Addison-Wesley, 1989.
3. Семенкин Е. С., Сопов Е. А. Вероятностные эволюционные алгоритмы оптимизации сложных систем // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Интеллектуальные системы» и «Интеллектуальные САПР». В 3 т. М. : Физматлит, 2005. Т. 1.
4. Галушин П. В., Семенкин Е. С. Асимптотический вероятностный генетический алгоритм // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 4 (25). С. 37–42.
5. Кнут Д. Э. Искусство программирования. Т. 4, вып. 2. Генерация всех кортежей и перестановок. М. : Вильямс, 2008.
6. Страуструп Б. Язык программирования C++. Спец. изд. М. : Бином-пресс, 2007.
7. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Основы системного анализа : учебник. 2-е изд., доп. Томск : НТЛ, 1997.
8. Baluja S. Population-Based Incremental Learning: a Method for Integrating Genetic Search Based Function Optimization and Competitive Learning. Pittsburgh, Pa: Carnegie Mellon Univ., 1994.
9. Kennedy J., Eberhart R. Particle Swarm Optimization // Proc. of IEEE Intern. Conf. on Neural Networks. IV. Perth, Australia, 1995. P. 1942–1948.

P. V. Galushin, O. E. Semenkina

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF EVOLUTIONARY ALGORITHMS FOR DISCRETE OPTIMIZATION

This paper proposes a modification of evolutionary optimization algorithms, which can be used to solve optimization problems with discrete variables without transformation of original problem into pseudo-boolean problem. It also evaluates efficiency of proposed methods applied for solution of problem of bank credit portfolio building.

Keywords: genetic algorithm, mutation, selection, discrete optimization.

© Галушин П. В., Семенкина О. Э., 2011

УДК 519.8

Д. А. Дегтерев, А. С. Дегтерев

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ ЦЕХОВЫХ РАСПИСАНИЙ

Проведен анализ современных систем, математических моделей и методов планирования и управления позаказным производством. Рассмотрены критерии оптимизации при составлении производственных расписаний, оценена вычислительная сложность задач оптимизации расписаний. Предложена модель задачи многокритериальной оптимизации цеховых расписаний дискретного производства, учитывающая все технологические ограничения.

Ключевые слова: математическое, динамическое и линейное программирование, имитационное моделирование.

Базовым понятием для задач составления расписаний (Machine Scheduling, MS) является операция. Для задания операции, как правило, необходимы два агента: объект операции, или ее материальный носитель, – то, над чем производят операцию, и субъект операции, или исполнитель, – тот, кто (или что) выполняет операцию. В качестве материального носителя операции может выступать отдельная деталь или сборочная единица создаваемого изделия. Носителем операции может быть человек, обслуживаемый другими людьми (приборами). Субъектами операций являются станки (инструменты, люди), необходимые для выполнения этих операций. В моделях MS они обычно называются машинами.

Некоторые подмножества операций организационно (и технологически) объединяются в работы. Например, если завод выпускает сложные изделия (машины, самолеты и т. п.), то все операции, относящиеся к одному изделию, составляют одну работу. На некоторые работы может быть наложен жесткий директивный срок их окончания, которому соответствует английский термин Deadline (смертельная линия), и/или желаемый срок окончания Due Date, отклонение от которого наказывается штрафом; при этом Deadline и Due Date одной и той же работы могут не совпадать. Моменты $\{C_j\}$ окончания работ $\{J_j\}$ (C – от Completion Time) играют существенную

роль в оценке качества обозначения построенного расписания: как правило, целевая функция задачи является функцией $f(C_1, ..., C_n)$ от моментов завершения работ $J_1, ..., J_n$.

В классических моделях MS присутствуют только три основных понятия: операции, работы и машины. При этом соблюдаются строгие правила:

– каждая операция относится ровно к одной работе;

– каждая операция выполняется ровно на одной машине (возможно, выбираемой из множества альтернативных машин);

– никакие две операции одной работы не могут выполняться одновременно;

– никакие две операции одной машины не могут выполняться одновременно.

Задача составления плана проекта при ограниченных ресурсах (Resource-Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP) [1] может быть сформулирована следующим образом. Дано n работ $i = 1, ..., n$ и r возобновляемых ресурсов $k = 1, ..., r$. Постоянное количество R_k ресурса k доступно в любое время. Работа i должна быть произведена за время p_i. В течение этого времени на данной работе задействовано постоянное количество r_{ik} ресурса k. Кроме того, для работ определены отношения предшествования $i \to j$, где $i \to j$ означает, что работа j не может начаться, пока не закончится работа i. Задача определения моментов начал S_i ставится для работ $i = 1, ..., n$ таким образом, что:

– в каждый момент времени t общая потребность в некотором ресурсе меньше либо равна наличию данного ресурса;

– соблюдены определенные выше отношения предшествования работ;

– величина $C_{\max} = \max\limits_{i=1...n} C_i$ принимает свое минимальное значение, где $C_i = S_i + p_i$ – время завершения работы i.

Возможно прерывание работ.

Иногда полезно добавить начальную псевдоработу 0 и конечную псевдоработу $n+1$, каждую с нулевой длительностью. Для всех работ $i = 1, ..., n$, должны выполняться условия $0 \to i$ и $i \to n+1$. Псевдоработы не требуют ресурсов. S_0 – момент начала проекта, а момент S_{n+1} может быть интерпретирован как момент окончания проекта.

Структура RCPSP должна быть представлена с помощью графа, где вершинами являются работы $G = (V, E)$. Здесь V – множество всех работ, $E = \{(i, j) \mid i, j \in V; i \to j\}$ отражает отношения предшествования. Каждой работе i ставятся в соответствие два множества: $\mathrm{Pred}(i) = \{j \mid (j, i) \in E\}$ и $\mathrm{Succ}(i) = \{j \mid (i, j) \in E\}$, где $\mathrm{Pred}(i)$ ($\mathrm{Succ}(i)$) – множество работ, находящихся в графе непосредственно перед (за) работой i.

Отношение предшествования $i \to j$ может быть заменено отношением «начало–начало»:

$$S_i + l_{ij} \le S_j, \tag{1}$$

где l_{ij} – любое целое число, от знака которого зависит смысл соотношения (1). Если $l_{ij} > 0$, то тогда работа j не может начаться, пока не пройдет l_{ij} времени после начала работы i, т. е. работа j не может начаться до момента начала работы i, и в этом случае l_{ij} – минимальная разница между моментами начала двух работ. Если $l_{ij} < 0$, то работа i должна начаться не позже чем через $-l_{ij}$ времени после начала работы j. Таким образом, l_{ij} называется *положительной* (*отрицательной*) *временной задержкой*, если (1) выполняется и $l_{ij} > 0$ ($l_{ij} < 0$).

Соотношения (1) являются обобщенными. Например, если $l_{ij} = p_i$, то это не что иное, как $i \to j$. Если же между окончанием работы i и началом работы j должно пройти не меньше d_{ij} времени, то это можно записать как $S_i + p_i + d_{ij} \le S_j$. Если выполняются условия $S_i + p_i + d_{ij} \le S_j$ и $S_j - u_{ij} - p_i \le S_i$, где $0 \le d_{ij} \le u_{ij}$, то время между окончанием работы i и началом работы j должно быть не менее d_{ij}, но не более u_{ij}. Последнее включает частный случай $0 \le d_{ij} = u_{ij}$, где работа j должна начаться точно через l_{ij} временных единиц после окончания работы i.

Для работы i ранние сроки начала r_i (r – Release) и поздние сроки окончания d_i (d – Deadlines) могут быть смоделированы соотношениями (1):

$$S_0 + r_i \le S_i, \; S_i - (d_i - p_i) \le S_0.$$

Временной интервал $[r_i, d_i]$ называется *временным окном работы* i. Работа i должна начаться и закончиться между границами данного временного окна.

Таким образом, необходимо определить возобновляемый ресурс k объемом r_{jkm} для работы j длительностью p_{jm}.

Общая постановка задачи составления цехового расписания. Пусть имеются работы $j = 1, ..., n$ и m машин $M_1, ..., M_m$. Работа j состоит из n_j операций $O_{1j}, ..., O_{n_j}, j$. Две операции одной работы не могут производиться одновременно. Операция O_{ij} имеет длительность p_{ij}, если производится машиной

$\mu \in \{M_1, ..., M_m\}$. Отношения предшествования существуют между любыми операциями. Такая общая задача составления цехового расписания может быть интерпретирована как RCPSP с $r = m + n$ возобновляемыми ресурсами, где $R_k = 1$ для $k = 1, ..., m + n$, и с числом операций O_{ij}, равным $\sum_{j=1}^{n} n_j$. Кроме того, операция O_{ij} использует объем ресурса k, равный r_{ijk}, где

$$r_{ijk} = \begin{cases} 0, & \text{если} \quad \mu_{ij} = M_k \quad \text{или} \quad k = m + j, \\ 1 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Ресурсы $k = 1, ..., m$ соответствуют оборудованию, в то время как ресурсы $m + j$ ($j = 1, ..., n$) необходимы, чтобы моделировать ситуации, когда разные операции одной работы j не могут производиться одновременно.

Для многих частных случаев общей задачи составления цехового расписания в настоящее время существуют либо точные детерминированные полиномиальные алгоритмы их решения, либо приблизительные эвристические алгоритмы, находящие приближенно оптимальное решение за полиномиальное время. Как было сказано выше, к уже существующим ограничениям для работы i можно добавлять ранние сроки начала r_i и поздние сроки окончания d_i.

Рассмотрим основные этапы применения математических методов к задаче оптимизации производственных расписаний.

Современная история математического моделирования задачи расписаний ведет свое начало с формулировки Р. Беллманом задачи об определении кратчайшей по времени последовательности обработки ряда деталей на нескольких станках [2]. Первое решение задачи для двух станков и частного случая трех станков описано С. Джонсоном [3]. Именно задача расписаний, в наиболее отчетливой форме отражающая временной аспект календарного планирования, составила основу специальной ветви математической экономики, известной как теория расписаний [4–7].

Особый этап в решении этой задачи состоял в поисках ее описания в виде модели математического программирования, которое сводится к последовательному решению задач линейного программирования (ЛП) [8; 9]. Недостатки формулировки модели в дискретном времени связаны с растущей громоздкостью задачи при уменьшении длительности такта. Однако при укрупнении такта теряется точность отражения действительности, поскольку календарный план (расписание) внутри такта во внимание не принимается.

Дальнейшее применение математических методов к задаче расписаний развивалось, с одной стороны, по пути теоретических исследований и разного рода обобщений, а с другой – по пути поиска практических решений. Здесь можно выделить использование системы приоритетов или функций предпочтения, применение статистических методов, методов имитации на ЭВМ. Эти методы носят эвристический характер и зачастую взаимно переплетаются друг с другом.

Основная особенность статистических методов заключается в возможности учета времени, используемого для решения задачи.

Роль имитационных моделей состоит в наиболее полном использовании возможностей современных ЭВМ. Первоначально эти модели имели вид простейших в логическом отношении способов построения календарных графиков. Современные имитационные модели представляют собой сложные комплексы взаимосвязанных алгоритмов, включающие в себя построение моделей и их реализацию на базе различных методов [10].

Для решения задачи составления расписаний широко применяются методы динамического программирования и метод ветвей и границ [2], который с большим успехом используется при решении одной из разновидностей задачи одного станка [11] – задачи о переналадках [12].

В экономической литературе описана задача об определении оптимального размера партии запуска-выпуска деталей [13–16]. Размер партии деталей как основной плановый норматив в серийном производстве оказывает существенное влияние на экономические результаты деятельности предприятия, цеха, участка.

Среди математически моделируемых задач календарного планирования выделяют задачу распределения производственной программы по отдельным календарным периодам (ОКП), которая может быть решена с помощью комплекса моделей, охватывающего всю систему организации подготовки производства на предприятии.

Имитационное моделирование. В имитационной модели присутствуют станки, перед которыми в процессе изготовления изделий накапливаются очереди из партий одинаковых деталей, ожидающих обработки. Каждая партия деталей в очереди имеет приоритет – численное значение, характеризующее порядок выбора партии деталей из очереди для обработки. Приоритеты могут быть как постоянными на промежутке времени, в течение которого партия деталей находится в очереди, так и изменяющимися в зависимости от ситуации в цехе.

Имитационная модель прежде всего загружает те операции, которые могут начаться в этот момент. Как только все такие операции назначены, модель продвинет время до следующего события, например до момента окончания самой короткой по длительности операции из ранее запущенных. В этом случае состояние ресурса (машина, человек) меняется с занятого на свободное и модель будет пытаться загрузить следующую операцию на освободившийся ресурс. Далее модель работает в таком же режиме, продвигая время до момента следующего события и назначая операции на освободившиеся ресурсы до тех пор, пока все операции не будут загружены.

Одним из главных вопросов при составлении расписаний является вопрос о критерии или критериях оптимизации расписания.

Одним из таких критериев является критерий минимума календарной длительности выполнения всего комплекса работ, который очень часто используется в системах управления проектами и в MES-системах (от англ. Manufacturing Execution System – производственная исполнительная система) начального уровня. Но этот критерий имеет существенный недостаток.

Допустим, имеется некое множество M работ (технологических операций), которое необходимо выполнить на множестве N рабочих центров (РЦ). Возьмем классический случай, когда каждая операция может быть выполнена на любом из РЦ.

Если во множестве N имеются не две-три операции, а значительно больше, как это и бывает в реальных случаях (например, в мелкосерийном производстве участок из 100 РЦ за смену может обработать до 300 операций), то оптимальному решению при использовании критерия минимума календарной длительности всегда соответствует хотя бы одна последовательность операций a, b, …, c, для которой суммарное время выполнения этой последовательности T нельзя уменьшить. Если на первых же итерациях поиска будет получен плотный по загрузке оборудования вариант, который высвободит сразу несколько РЦ, то высвободившихся при этом рабочих можно переместить на другие участки, где есть потребность в рабочей силе.

Если же будет получен вариант, характеризующийся весьма неэффективным распределением операций между РЦ, то дальнейший поиск ничего не даст, так как величина длительности выполнения всего множества работ T не уменьшится. Руководствуясь таким критерием и отработав все варианты, алгоритм выдаст график загрузки в виде «лоскутного одеяла», который характеризуется простоями оборудования. А ведь за простои рабочему надо платить, да и сами станки, как известно, бесплатно не простаивают. Вот почему «интегральной характеристикой любого производственного расписания может являться общая площадь этого самого „лоскутного одеяла“ на диаграмме Гантта» [17].

Нередко иные начальники производств для повышения коэффициента загрузки оборудования стараются минимизировать простои станков путем заполнения пробелов в расписании работами, относящимися к выпуску изделий следующего планового периода, т. е. сознательно увеличивают объем незавершенного производства (НЗП). Однако неоправданный рост НЗП – это настоящее «самоедство» для любого производства, поскольку при этом связывается значительная доля оборотных средства предприятия.

Рассмотренная проблема характерна не только для критерия минимума календарной длительности, но и для других подобных ему частных критериев. Можно сказать, что многие частные критерии, улучшая тот или иной показатель расписания, могут ухудшить остальные его показатели. Например, если в расписании не настаивать на требовании, чтобы все работы непременно уложились за время T, то можно было бы еще сильнее уплотнить диаграмму Гантта. В этом и состоит та особенность, которая отличает алгоритмы планирования, принятые в управлении проектами, когда минимизируются суммарное время исполнения проекта (здесь время T увеличивать нельзя, можно только его сокращать), от алгоритмов составления расписаний, используемых в MES-системах, когда выдвигается интегральное требование минимизации площади, занятой распределяемыми работами.

Итак, что же такое частный критерий? Это критерий, который отражает какую-либо одну особенность при построении расписания, например минимизацию времени переналадок, минимум транспортных операций и др. В противовес этим критериям существуют критерии интегрального характера, к которым относятся критерии минимума всех непроизводительных времен, минимума стоимости выполненного расписания и др.

Для таких критериев системный анализ на основе жесткого руководства «Разделяй и властвуй» дает более гибкое решение: «Разделяй, синтезируй, властвуй». Это, в частности, относится к так называемым векторным критериям планирования. Векторный критерий – это такой интегральный критерий, в который могут входить несколько частных критериев, иногда противоречивых, при этом чем более противоречат друг другу частные критерии, тем сложнее отыскать оптимальное решение.

Нетрудно догадаться, что из нескольких частных критериев можно создать очень большое количество комбинаций, которые могут пригодиться для самых различных производственных ситуаций. При оптимизации расписаний в MES-системах с помощью векторных критериев применяются различные методики, но чаще всего это поиск оптимума на паретомножествах [18].

Таким образом, за счет использования в MES-системах векторных критериев повышается управляемость при построении расписаний, что существенно увеличивает эффективность использования парка дорогостоящего оборудования.

Следующим весьма интересным вопросом является вопрос о назначении приоритетов партий деталей при планировании. Как мы уже отмечали, каждая партия деталей в очереди имеет приоритет – численное значение, характеризующее порядок выбора партии деталей из очереди для обработки. Приоритеты могут быть как постоянными на промежутке времени, в течение которого партия деталей находится в очереди, так и динамическими.

Правила диспетчирования, в соответствии с которыми работы выбираются из очереди перед станком, были классифицированы, а в дальнейшем были проведены исследования по определению того, какие правила диспетчирования дают более точное решение в задачах с заданными критериями построения расписаний [19].

Класс 1 содержит простые приоритетные правила, в основу которых положена информация о работах, например:

– Shortest Processing Time (SPT) – наименьшая длительность обработки;

– Earliest Due Date (EDD) – ближайший срок готовности;

– Minimum Slack (MINSLACK) – минимальный резерв времени;

– First In – First Out (FIFO) – первым вошел, первым вышел.

Класс 2 состоит из правил, являющихся комбинациями правил из класса 1. В частности, правило может динамически зависеть от ситуации в цехе. Например, если длина очереди меньше 5, то применяется правило FIFO, в противном случае – правило SPT. Это способствует тому, что работы с большими длительностями обработки не будут долго стоять в очереди.

Класс 3 содержит правила, относящиеся к взвешенным приоритетным коэффициентам. Назначение приоритетов в общем случае происходит строго в соответствии со следующей методикой.

Допустим, что у нас есть некий заказ – партия деталей *i*-го наименования из множества номенклатуры запуска $N = \{1, 2, \ldots, i, \ldots, n\}$, имеющая согласно технологическому процессу определенное количество операций, для каждой из которых нам известно время ее выполнения. Тогда сумму времени для выполнения всей операционной последовательности *i*-го заказа обозначим через t_i. Кроме того, у каждого заказа известен директивный момент его выхода из цеха τ_{id}.

Если мы начнем составлять план на несколько дней на каком-либо горизонте планирования от момента начала плана, то увидим, что некоторые заказы можно выполнить только в первый день, так как перенос начала их выполнения на следующий день или даже чуть ранее приведет к нарушению директивных моментов τ_{id}. При этом другие заказы могут «полежать» и день и даже больше без нарушения директивных моментов выхода из цеха.

В любом случае заказ может быть выполнен, если момент окончания его выполнения $\tau_{i\text{к}}$ не больше директивного срока выпуска, т. е. должно выполняться условие $\tau_{i\text{к}} \le \tau_{id}$. Тогда напряженность для любого *i*-го заказа можно представить в виде его коэффициента напряженности $K_1 = t_i / (\tau_{id} - \tau_{i\text{н}})$, где $\tau_{i\text{н}}$ – момент начала выполнения заказа.

Другим вариантом взвешенного коэффициента напряженности может быть коэффициент $K_2 = w_1 t_i + w_2 (t_{\text{тек}} - \tau_{id})$, где $t_{\text{тек}}$ – текущее время; w_1 и w_2 – весовые коэффициенты, задаваемые пользователями.

Вся номенклатура, подлежащая планированию в MES-системе, ранжируется согласно коэффициенту напряженности заказов K_1 или K_2, в соответствии с которым назначаются приоритеты: чем больше напряженность заказа, тем выше приоритет. В процессе планирования MES-система отыскивает для каждого заказа момент начала его выполнения таким образом, чтобы этот момент не превышал директивного момента τ_{id}.

Такой метод назначения приоритетов помогает MES-системе правильно распределить заказы между сменами. Если же на всем горизонте планирования любой заказ может быть выполнен в любой момент времени, то расстановка приоритетов является излишней.

Моменты τ_{id} становятся известными на этапе предварительного планирования – это функция SCM в APS-системах, управление цепочками поставок, в том числе временными цепочками потока номенклатуры для цехов предприятия.

В последние 40 лет эффективность большого количества правил диспетчирования была широко изучена с применением имитационного моделирования [20]. Целью этих исследований был поиск ответа на вопрос: «Какое правило диспетчирования нужно выбрать, чтобы оптимизировать конкретный критерий, выбранный при составлении расписания?» Большая часть ранних работ была сконцентрирована на правиле наименьшей длительности обработки (SPT). Р. В. Конвей [21] был первым, кто изучил правило SPT и его вариации. Он показал, что хотя некоторые отдельные работы могут иметь достаточно продолжительные суммарные (вместе с ожиданиями) времена обработки, правило наименьшей длительности обработки минимизирует средние суммарные (вместе с ожиданиями) времена обработки для всего множества работ на горизонте планирования. Он также показал, что правило SPT является лучшим выбором для минимизации среднего времени ожидания работ в очереди и максимизации среднего коэффициента использования оборудования.

Библиографические ссылки

1. Brucker P. Complex Scheduling Problems [Electronic resource]. URL: ftp://ftp.mathematik.uni-osnabrueck.de/pub/osm/preprints/complex.ps.gz/ (date of visit: 10.11.2011).

2. Смоляр Л. И. Модели оперативного планирования в дискретном производстве. М. : Наука, 1978.

3. Джонсон С.М. Календарное планирование. М. : Прогресс, 1966.

4. Португал В. Н., Семенов А.И. Теория расписаний. М. : Знание, 1972.

5. Смоляр Л. И. Теория расписаний и управление. М. : Знание, 1976.

6. Танаев В. С. Теория расписаний. – М. : Знание, 1988.

7. Танаев В. С., Гордон В. С., Шафранский Я. М. Теория расписаний. Одностадийные системы. М. : Наука, 1984.

8. Лурье А. Л. О некоторых задачах календарного планирования. М. : Экономика, 1962. (Проблемы кибернетики. Вып. 7).

9. Соколицын С. А. Применение математических методов в экономике и организации машиностроительного производства. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1970.

10. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. М. : Мир, 1975.

11. Шкурба В. В. Задачи календарного планирования и методы их решения. Киев : Наук. думка, 1966.

12. Смоляр Л. И. Экономико-математические модели календарного планирования в машиностроении. М. : Машиностроение, 1969.

13. Бигель Дж. Управление производством. Количественный. М. : Мир,1973.

14. Непорент О. И. Организация производства. М. : Промиздат, 1927.

15. Организация и планирование производства / под ред. В. А. Летенко. М. : Высш. шк., 1972.

16. Сафроненко В. А. Математическое и электронное моделирование задачи оптимального календарного планирования. Минск : Наука и техника, 1972.

17. Фролов Е. Б., Загидуллин Р. Р. MES-системы как они есть, или эволюция систем планирования производства [Электронный ресурс]. URL: http://erpnews.ru/doc2592.html (дата обращения: 10.11.2011).

18. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М. : Физматлит, 2002.

19. Jones A. Survey of Job Shop Scheduling Techniques [Electronic resource]. – URL: http://citeseer.ist.psu.edu/331527.html (date of visit: 10.11.2011).

20. Mitchell M. An Introduction to Genetic Algorithms. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1996.

21. Конвей Р. В. Теория расписаний. М. : Наука, 1975.

D. A. Degterev, A. S. Degterev

MAHTEMATICAL METHODS OF SOLUTION OF WORKSHOP SCHEDULING PROBLEM

The authors present the analysis of modern systems, mathematical models and methods for planning and management of the described production. Optimization criteria for workshop scheduling are considered, computational complexity of scheduling optimization problems is estimated. A model of multi-criteria optimization of discrete production manufacturing scheduling problem is suggested. The model takes into account all technological restrictions.

Keywords: mathematical, dynamic and linear programming, simulation modeling.

© Дегтерев Д. А., Дегтерев А. С., 2011

УДК 519.8

А. С. Дегтерев, В. И. Усаков, В. В. Хартов

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ НА ПРОИЗВОДЯЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

Сложившаяся ситуация с отставанием производящих предприятиях России в вопросах автоматизации процессов носит системный характер. Начальные шаги по преодолению этого отставания лежат в организационной плоскости, в частности в сфере развития кооперации.

Ключевые слова: автоматизация процессов, производящие предприятия.

Главной целью всех новаций в управлении процессами на производящем предприятии является повышение производительности труда при минимизации издержек. Магистральный путь в достижении этой цели состоит в автоматизации процессов. Однако чтобы эффективно управлять, необходимо знать объект управления. И это является одной из ключевых проблем, препятствующих масштабному развертыванию автоматизации процессов на производящих предприятиях, поскольку дифференциация этого знания, по сути, представляет собой дифференциацию управленческих функций. В настоящее время уже пришло понимание того, что создание информационной системы, где все приложения работают с единой базой данных, требует существенной, а иногда даже кардинальной реорганизации процессов на всех стадиях жизненного цикла изделия (ЖЦИ). Постепенно приходит и понимание того, что в области программно-аппаратного обеспечения автоматизации процессов нужны адекватные поставленным задачам подходы.

Сложившееся положение уже давно стало предметом жестких оценок, публикуемых на страницах специализированных изданий. В частности, в журнале «Директор информационной службы» (2002. № 11. С. 44) отмечалось: «Государственные структуры, авиационные институты и другие заинтересованные организации слишком много паразитируют на терми-

нах CALS-технологий». С тех пор положение не улучшилось прежде всего потому, что вопросы дифференциации знания об объекте управления не рассматриваются субъектами сколько-нибудь предметно. Перераспределение функций в рамках штатного расписания здесь особого смысла не имеет, поскольку реальные процессы отличаются большим разнообразием даже в рамках отдельного предприятия и не могут слепо копироваться другими предприятиями. Выделение же базисного набора как инварианта к изменяющимся условиям функционирования хозяйствующего субъекта проблематично без привязки к конкретному варианту набора лиц, принимающих решение (ЛПР). Согласно [1] различают следующие их типы: Producer (продюсер), Administrator (администратор), Enterpreneur (предприниматель) и Integrator (интегратор).

Таким образом, эффективность управления обеспечивается адекватным распределением функций сообразно структуре информационного пространства. При этом определяющими факторами в формировании и реализации стратегии развития производящего предприятия являются профессиональная подготовленность и психофизилогический тип ЛПР.

В свою очередь профессионализм менеджера базируется не столько на совокупности имеющихся у него чисто управленческих знаний, отражающих лишь оперативный пласт, доступный рядовым исполнителям, сколько на его умении трансформировать эти знания в адекватное управленческое воздействие. В идеале ЛПР должно обладать всеми четырьмя доминантами характера – PAEI (по первым буквам их названий). Однако поиск возможности воспитать такого руководителя сопоставим с поиском вечного двигателя. Выход заключается в том, что в управлении компанией должны быть представлены все эти четыре типа руководителей. Если обозначить доминанту типа заглавной буквой, то требование (необходимое, но не всегда достаточное) успешности менеджмента компании можно представить наличием в ней совокупности управленческих типов Paei, pAei, paEi, paeI. Абстрагируясь от факта, что каждому типу предприятия наилучшим образом соответствует какой-либо один из возможных вариантов управленческих типов, отметим следующее.

Тип руководителя A – ключевой в деле автоматизации управления предприятием. Действительно, роль администратора состоит в том, чтобы обеспечить формализацию процесса управления. Основным результатом этой работы является стандартизация документооборота и процедур для минимизации используемых ресурсов. Но поскольку тип E – главный инициатор и проводник изменений и «лучшее – враг хорошего», то неизбежно будут возникать противоречия в устремлениях менеджеров типов A и E. Это может стать тормозом в создании системы автоматизации управления предприятием, если имеет место вариант pAEi. Уменьшить потери от такого типа конфликтов можно привлечением в структуру управления предприятием ЛПР типа I, поскольку интегратор – это не просто хороший менеджер, а именно лидер.

Исходя из того что программы сами по себе задачи не решают, перед закупкой дорогостоящего программного обеспечения необходимо определиться с приоритетами при формализации процесса автоматизации управленческих и производственных звеньев на предприятии и расставить акценты в планах его реализации. Первые попытки отечественных авторов в этой области (см., например [2; 3]) в известном смысле выполнили просветительскую функцию, однако не раскрыли ключевых аспектов практической реализации прикладных задач. Это же относится и более поздним изданиям, например [4], существенно не продвигающих пользователей, особенно пользователей САПР, дальше тривиального конструирования по каталогам и «электронного кульмана». Хотя очевидно, что доступные для конкретного типа предприятия и его состояния границы адекватной формализации – это вопрос квалификации менеджмента.

В настоящее время всеми признается, что обеспечение качества продукции – это основа стратегии современного делового мира, но при этом необходимо понимать, что «развитие предприятия» и «автоматизация процессов» – родственные понятия. И наряду с качеством продукции успех на рынке зависит от затрат, в том числе и временных, на создание, освоение, тиражирование и эксплуатацию изделия не только на производственной стадии ЖЦИ, что связано с технологическим переоснащением, но и на допроизводственных стадиях ЖЦИ, особенно на этапе проектирования, для чего необходимо не только техническое, в том числе программно-аппаратное, сколько кадровое переоснащение. Последнее становится особенно критическим, поскольку подготовка кадров ведется в отрыве от реальных проблем производящих предприятий. Это прежде всего касается адекватности представления об объекте труда.

Действительно, неопределенность в оценке критериев в проектных задачах, всегда имеющая место при создании новых образцов техники, не является объектом изучения при подготовке инженеров, хотя именно раскрытие неопределенности критериев лежит в основе обеспечения качества проектных решений [5]. И здесь основным препятствием является слабая математическая подготовка разработчиков новой техники и выпускников технических вузов. Известные попытки исправить ситуацию через «усиление фундаментальной подготовки» не могут изменить сложившееся положение в принципе, поскольку математика критериев не генерирует. В связи с этим представляется целесообразным формирование базовых, инвариантных по отношению к конкретному общеобразовательному направлению, блоков математической подготовки с последующим наращиванием прикладного инструментария в процессе продуктивной деятельности на стадии профессиональной подготовки (получения квалификации) и далее по месту работы по мере накопления знаний об объекте труда.

Таким образом, сложившаяся ситуация с отставанием в вопросах автоматизации процессов на производящих предприятиях России носит системный характер и преодоление этого отставания является единственной возможностью перейти к инновационной экономике. Однако, учитывая необходимость кардинальных перемен во всех сферах, начиная с подготовки кадров и кончая подбором ЛПР, ожидать адекватных организационных шагов сверху в ближайшие годы не представляется возможным, что с неизбежностью приведет к усилению сырьевого направления и поставит на грань выживания производящие предприятия, существующие во многом благодаря госзаказу. Сохранение производящих предприятий возможно через развитие кооперации не только хозяйствующих субъектов производственной сферы, но и их научного и кадрового сопровождения, что будет способствовать снижению издержек на всех стадиях ЖЦИ и обеспечит защиту продукции этих предприятий на рынке.

Библиографические ссылки

1. Адизес И. Управление жизненным циклом корпорации. СПб. : Питер, 2007.

2. Управление жизненным циклом продукции / А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков. М. : Анахарсис, 2002.

3. Судов Е. В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. М. : МВМ, 2003.

4. Энциклопедия PLM [Электронный ресурс]. URL: www.PLMpedia.ru (дата обращения: 18.10.2011).

5. Механика современных специальных систем. В 3 т. / Н. В. Василенко, Н. И. Галибей, В. К. Гупалов и др. ; под ред. проф. Н. В. Василенко, Н. И. Галибея. Красноярск, 2004.

A. S. Degterev, V. I. Usakov, V. V. Khartov

THE PROBLEMS OF AUTOMATION OF PROCESSES AT MANUFACTURING ENTERPRISES

Contemporary situation with lag in the questions of automation of processes at Russian manufacturing enterprises is of system nature. First steps to overcome this lag were made in organizational sphere, in particular, in the sphere of cooperation development.

Keywords: automation of processes, manufacturing enterprises.

© Дегтерев А. С., Усаков В. И., Хартов В. В., 2011

УДК 62.52

Н. Д. Демиденко

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССОВ МАССООБМЕНА

Получена математическая модель процесса массообмена в ректификационных колоннах тарельчатого типа. Построена система обыкновенных дифференциальных уравнений с переходом к уравнениям в частных производных. Проведены исследования процессов установления в динамических режимах. Рассчитаны статистические и динамические характеристики промышленной ректификационной колонны.

Ключевые слова: статические и динамические режимы, переходные процессы, время установления, метод суперпозиции стоячих волн, асимптотика.

Для математического описания процессов массообмена в ректификационных колоннах широко используются системы уравнений в частных производных [1; 2]. Такое описание вполне естественно для колонн насадочного типа, но требует отдельного обоснования для тарельчатых колонн, так как в последнем случае объект по своей природе дискретен. В [2] был развит подход, основанный на детальном рассмотрении процессов для отдельной тарелки. На основе физических представлений о гидродинамике жидкости в тарелке и барботаже парового потока были получены уравнения баланса массы с учетом фазового перехода компонентов [2]. В результате проведенных исследований построена система обыкновенных дифференциальных уравнений, а затем и в частных производных, с использованием формул разложения Тейлора в предположении малого различия параметров потока на соседних тарелках. Полученная система уравнений в частных производных для тарельчатых колонн имеет такой же вид, что и для насадочных, благодаря чему возможно описание колонн различного типа с помощью единого математического аппарата и сравнительно несложного пересчета параметров для колонн различных типов.

Рассмотрим систему уравнений, описывающую массообмен для бинарной смеси в ректификационной колонне тарельчатого типа [2]:

$$\begin{gathered}\frac{\partial}{\partial t}\left(\left(HS_1+S_2h\left(H\right)\right)nx\right)-\Delta l\frac{\partial\left(Qnx\right)}{\partial l}=\\ \frac{k_{\text{т}}\pi D^{3/n}}{6\tau}\left(y-kx\right)+\Phi_1,\\ \frac{\partial}{\partial t}\left(S_2\left(\Delta l-h_0\right)ny\right)+\Delta l\frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{k_{\text{т}}\pi D^{3/n}y}{6\tau}\right)=\\ \frac{k_{\text{т}}\pi D^{3/n}}{6\tau}\left(kx-y\right)+\Phi_2,\end{gathered}\tag{1}$$

где x, y – массовые, а $\overline{n}$, n – мольные концентрации компонентов в паре и жидкости соответственно; H, $h(H)$ – уровень жидкости в переливном патрубке и на тарелке; Q – поток жидкой фазы; Δl – расстояние между тарелками; S_1, S_2, $k_{\text{т}}$, D – геометрические параметры тарелки; τ – величина, характеризующая время образования пузырька пара в жидкости; Φ_1, Φ_2 – функции внешнего воздействия, обусловленные вводом и выводом потоков сырья и целевых продуктов.

Большой интерес представляет исследование различных нестационарных режимов, в частности процессов установления. При малых отклонениях от равновесного состояния возможно проведение линеаризации системы и использование метода стоячих волн для исследования спектра собственных частот. Несмотря на простоту, этот метод позволяет не только получить качественное представление о характере процесса установления, но и определить важные количественные характеристики времени установления, резонансные свойства системы, а также выявить области неустойчивости в пространстве параметров системы.

Вычисление времени установления необходимо по двум причинам: во-первых, это важно для прогнозирования времени перехода с одного стационарного режима к другому при изменении скорости поступления сырья или его состава; во-вторых, это нужно для оптимального проведения расчетов в более сложных программах решения системы (1) по конечно-разностной методике. В этом случае программа вычисления собственных частот и времени установления включается как блок в общую программу и позволяет выбрать оптимальный шаг интегрирования по времени, совместимый с устойчивостью и удовлетворительной аппроксимацией. Для контроля точности расчетов по конечно-разностной методике в качестве тестовых также могут быть использованы аналитические решения, представленные в виде суперпозиции стоячих волн.

Если известно N собственных значений, то можно выписать соответствующее N параметрическое семейство решений в виде

$$\begin{pmatrix}u\\ \nu\end{pmatrix}=\sum_{n=1}^{N}c_n\begin{pmatrix}u_n\\ v_n\end{pmatrix}e^{\lambda_n t},\tag{2}$$

где u_n, v_n – собственные функции частот; λ_n – комплексные числа; c_n – произвольные коэффициенты.

Для применения конечно-разностной методики к решению системы (1) введем следующие обозначения: $u=\left(HS_1+S_2h\left(H\right)\right)nx$, $v=\overline{n}y$, $k_y=\dfrac{k_T\pi D^3\overline{n}}{6\tau}$.

Линеаризуя (1) в окрестности стационарных параметров, получим систему без учета внешнего воздействия:

$$\begin{gathered}\frac{\partial u}{\partial t}-A\frac{\partial u}{\partial l}=D_1\left(v-k^*u\right),\\ \frac{\partial v}{\partial t}+B\frac{\partial v}{\partial l}=D_2\left(k^*u-v\right),\end{gathered}\tag{3}$$

где A, B – величины, пропорциональные скоростям потоков. Граничные условия с учетом рециркуляции взаимодействующих для этой системы можно записать в виде [2]:

$$\begin{gathered}\alpha_1\frac{du}{dt}+\beta_1\frac{dv}{dt}=\gamma_1u+\delta_1v,\quad l=0,\\ \alpha_2\frac{du}{dt}+\beta_2\frac{dv}{dt}=\gamma_2u+\delta_2v,\quad l=L,\end{gathered}\tag{4}$$

где $\alpha_i,\beta_i,\gamma_i,\delta_i\left(i=1,2\right)$ – коэффициенты, зависящие от параметров потоков в кубе (l = 0) и дефлегматоре (l = L). Конкретный вид этих коэффициентов приведен в работе [2].

Решение задачи (3), (4) ищем в виде

$$u=u\left(l\right)e^{\lambda t},\quad v=v\left(l\right)e^{\lambda t}.$$

Подставим эти решения в систему (3) и граничные условия (4):

$$\begin{gathered}u\left(l\right)\lambda-Au'\left(l\right)=D_1\left(v\left(l\right)-k^*u\left(l\right)\right),\\ v\left(l\right)\lambda+Bv'\left(l\right)=D_2\left(k^*u\left(l\right)-v\left(l\right)\right),\end{gathered}\tag{5}$$

$$\begin{gathered}\alpha_1\lambda u\left(0\right)+\beta_1\lambda v\left(0\right)=\gamma_1u\left(0\right)+\delta_1v\left(0\right),\quad l=0,\\ \alpha_2\lambda u\left(0\right)+\beta_2\lambda v\left(0\right)=\gamma_2u\left(0\right)+\delta_2v\left(0\right),\quad l=L.\end{gathered}\tag{6}$$

Решим систему (5):

$$u\left(l\right)=ae^{\mu l},\quad v\left(l\right)=be^{\mu l}.$$

Подставляя $u(l)$ и $v(l)$ в (3), получим систему на собственные значения λ:

$$\begin{gathered}a\lambda-Aa\mu=D_1\left(b-k^*a\right),\\ b\lambda+Bb\mu=D_2\left(k^*a-b\right),\end{gathered}$$

из которой найдем выражения для $\mu_{1,2}\left(\lambda\right)$:

$$\mu_{1,2}=\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{A}-\frac{\lambda}{B}-\frac{D_2}{B}+\frac{D_1k^*}{A}\right)\pm$$

$$\pm\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{\lambda}{A}-\frac{\lambda}{B}-\frac{D_2}{B}+\frac{D_1k^*}{A}\right)+\frac{\lambda^2}{AB}+\frac{\lambda D_2}{AB}+\frac{\lambda k^*D_1}{AB}}.$$

Затем решение системы (5)

$$u=ae^{\lambda t+\mu_1 l},\quad v=be^{\lambda t+\mu_1 l}$$

запишем в векторном виде:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = a_1 \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_1 + D_1 k^*\right) \end{pmatrix} e^{\mu_1 l + \lambda t} + \\ + a_2 \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_2 + D_1 k^*\right) \end{pmatrix} e^{\mu_2 l + \lambda t}. \quad (7)$$

Для определения λ и, следовательно, $\mu_1(\lambda)$ и $\mu_2(\lambda)$ воспользуемся граничными условиями (6). Подставляя решение (7) в граничные условия при $l = 0$ и $l = L$, получим:

$$a_1 e^{\lambda t}\left(\lambda\alpha_1 - \gamma_1 + (\lambda\beta_1 - \delta_1)\frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_1 + D_1 k^*\right)\right) + \\ + a_2 e^{\lambda t}\left(\lambda\alpha_1 - \gamma_1 + (\lambda\beta_1 - \delta_1)\frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_2 + D_1 k^*\right)\right) = 0, \quad l = 0,$$

$$a_1 e^{\mu_1 L}\left(\lambda\alpha_2 - \gamma_2 + (\lambda\beta_2 - \delta_2)\frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_1 + D_1 k^*\right)\right) + \\ + a_2 e^{\mu_2 L}\left(\lambda\alpha_2 - \gamma_2 + (\lambda\beta_2 - \delta_2)\frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_2 + D_1 k^*\right)\right) = 0, \quad l = L.$$

Итак, мы имеем систему уравнений для коэффициентов решения (7) a_1, a_2. Ее определитель должен быть равен нулю:

$$f(\lambda) = e^{\mu_2 L}\left(\lambda\alpha_1 - \gamma_1 + (\lambda\beta_1 - \delta_1)\frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_1 + D_1 k^*\right)\right) \times \\ \times \left(\lambda\alpha_2 - \gamma_2 + (\lambda\beta_2 - \delta_2)\frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_2 + D_1 k^*\right)\right) = \\ = -e^{\mu_1 L}\left(\lambda\alpha_2 - \gamma_2 + (\lambda\beta_2 - \delta_2)\frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_1 + D_1 k^*\right)\right) \times \\ \times \left(\lambda\alpha_1 - \gamma_1 + (\lambda\beta_1 - \delta_1)\frac{1}{D_1}\left(\lambda - A\mu_2 + D_1 k^*\right)\right). \quad (8)$$

Вычислив корни λ этого трансцендентного уравнения, мы тем самым найдем спектр исходной задачи, который, вообще говоря, содержит бесконечное число значений λ. Поэтому процесс решения уравнения (8) разобьем на два этапа: сначала определим младшие корни λ внутри достаточно большого замкнутого контура C и получим точное численное решение уравнения (8), а затем исследуем асимптотику при $\lambda \to \infty$.

Для получения точного решения уравнения (8) воспользуемся методами теории функций комплексного переменного. Известно, что число нулей внутри замкнутого контура C аналитической функции $f(\lambda)$, не имеющей полюсов, определяется по формуле [3]:

$$N = \frac{1}{2\pi i}\int \frac{f'(\lambda)}{f(\lambda)} d\lambda.$$

Зная число корней, определим сами корни, воспользовавшись формулой [3]:

$$\frac{1}{2\pi i}\int \lambda \frac{f'(\lambda)}{f(\lambda)} d\lambda = \sum_{k=1}^{N} n_k a_k,$$

где a_k – корень уравнения $f(\lambda) = 0$; n_k – его кратность.

Согласно этой формуле составим систему

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_n = \frac{1}{2\pi i}\int_C \lambda \frac{f'(\lambda)}{f(\lambda)} d\lambda,$$

$$\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \ldots + \lambda_n^2 = \frac{1}{2\pi i}\int_C \lambda^2 \frac{f'(\lambda)}{f(\lambda)} d\lambda,$$

. . . . . .

$$\lambda_1^N + \lambda_2^N + \ldots + \lambda_n^N = \frac{1}{2\pi i}\int_C \lambda^N \frac{f'(\lambda)}{f(\lambda)} d\lambda,$$

которая решается внутри достаточно большого контура C.

При исследовании асимптотики необходимо исходить из конкретных граничных условий. Поэтому возьмем задачу, например из работы [2], и применим к ней конечно-разностную методику.

Граничные условия из работы [2] приведем к виду

$$H_k \frac{dv}{dt} = c_1 u - \frac{wc_2}{V} v - c_2 v, \quad l = 0,$$

$$\frac{H_d c_2}{L_d}\frac{du}{dt} = c_2 v - \frac{V_d c_1}{L_d} u, \quad l = L,$$

где H_k, H_d, c_1, c_2, V_d, L_d, W – известные коэффициенты, откуда для системы (6) получим:

$$\alpha_1 = 0, \ \beta_1 = \frac{c_1 H_k}{V_d}, \ \gamma_1 = c_1, \ \delta_1 = -c_2\left(\frac{W}{V_d} + 1\right),$$

$$\alpha_2 = \frac{H_d c_1}{L_d}, \ \beta_2 = 0, \ \gamma_2 = -\frac{c_1 V_d}{L_d}, \ \delta_2 = c_2.$$

В уравнении (8) исключим младшие члены, не содержащие λ и первого порядка относительно λ, и получим уравнение для достаточно больших λ:

$$e^{\frac{\lambda}{AB}(A+B)L} = -\frac{\left(\alpha_2 - \frac{\delta_2}{D_1}\left(1 + \frac{A}{B}\right)\right)\beta_1 k^*}{\alpha_2 \lambda \frac{\beta_1}{D_1}\left(1 + \frac{A}{B}\right)}.$$

Числитель правой части, не содержащий λ, обозначим c. Тогда

$$e^{\frac{\lambda}{AB}(A+B)L} = -\frac{c}{\alpha_2 \lambda \frac{\beta_1}{D_1}\left(1 + \frac{A}{B}\right)}.$$

Имея в виду, что λ – комплексное число, т. е. $\lambda = \xi + i\eta$, получим:

$$\frac{\lambda(A+B)L}{AB} = \ln\left(-\frac{c}{\alpha_2\lambda\frac{\beta_1}{D_1}\left(1+\frac{A}{B}\right)}\right) - \ln\lambda,$$

$$\xi = \frac{AB}{(A+B)L}\ln\left(-\frac{c}{\alpha_2\lambda\frac{\beta_1}{D_1}\left(1+\frac{A}{B}\right)}\right) - \frac{AB}{(A+B)L}\ln\eta,$$

$$\eta = -\frac{2\pi nAB}{(A+B)L} + \text{const}.$$

Перенумеровав полученные λ в порядке возрастания $|\mathrm{Re}\lambda|$, решение системы (3) запишем в виде суперпозиции стоячих волн:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \sum_n e^{\lambda_n t}\left(a_n\begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{D_1}\left(\lambda_n - A\mu_1 + D_1k^*\right)\end{pmatrix}e^{\mu_1 l} + \right.$$

$$\left. + \; b_n\begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{D_1}\left(\lambda_n - A\mu_2 + D_1k^*\right)\end{pmatrix}e^{\mu_2 l}\right)$$

где a_n, b_n выбираются таким образом, чтобы удовлетворить заданному начальному условию.

При исследовании полученного спектра $\{\lambda_n\}$ нужно прежде всего обратить внимание на $\mathrm{Re}\lambda_n$. Если среди комплексных чисел λ_n имеются такие, для которых $\mathrm{Re}\lambda > 0$, то коэффициенты системы таковы, что режим будет расходящимся, и поэтому следует изменить значения параметров.

В заключение рассмотрим величину $\tau = \max\frac{1}{|\mathrm{Re}\lambda|}$ – время затухания самой медленной из гармоник, т. е. время установления для всей системы. От этой величины зависит выбор шага интегрирования по времени при расчетах по конечно-разностной методике. При расчетах периодических режимов следует иметь в виду, что существует возможность резонанса при совпадении частоты внешнего воздействия с одной из собственных частот (мнимой частью λ).

Приведем результаты расчетов, полученные с помощью конечно-разностной методики для прогнозирования поведения решения задачи (3), (4) (рис. 1–4). Были использованы следующие коэффициенты: $A = 36$ м/с, $B = 360$ м/с, $D_1 = D_2 = k_y\frac{B}{V}$, $V = 73{,}07$ кмоль/ч, $k^* = \frac{V\cdot A}{L\cdot B}$, $\alpha = 45{,}21$ кмоль/ч, $H_k = 30$ кмоль/ч, $H_d = 50$ кмоль/ч, $W = 76{,}59$ кмоль/ч.

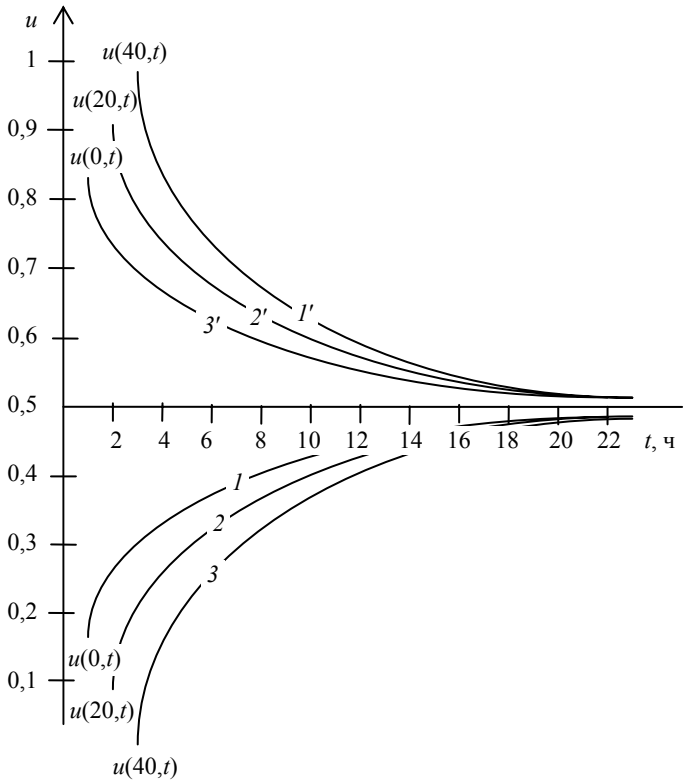


Рис. 1. Кривые переходных процессов при возмущении по концентрации вверху колонны для точек l = 0, 20, 40 м: *1′*, *2′*, *3′* – при увеличении $u(L,0)$ на 50 %; *1*, *2*, *3* – при уменьшении $u(L,0)$ на 50 %

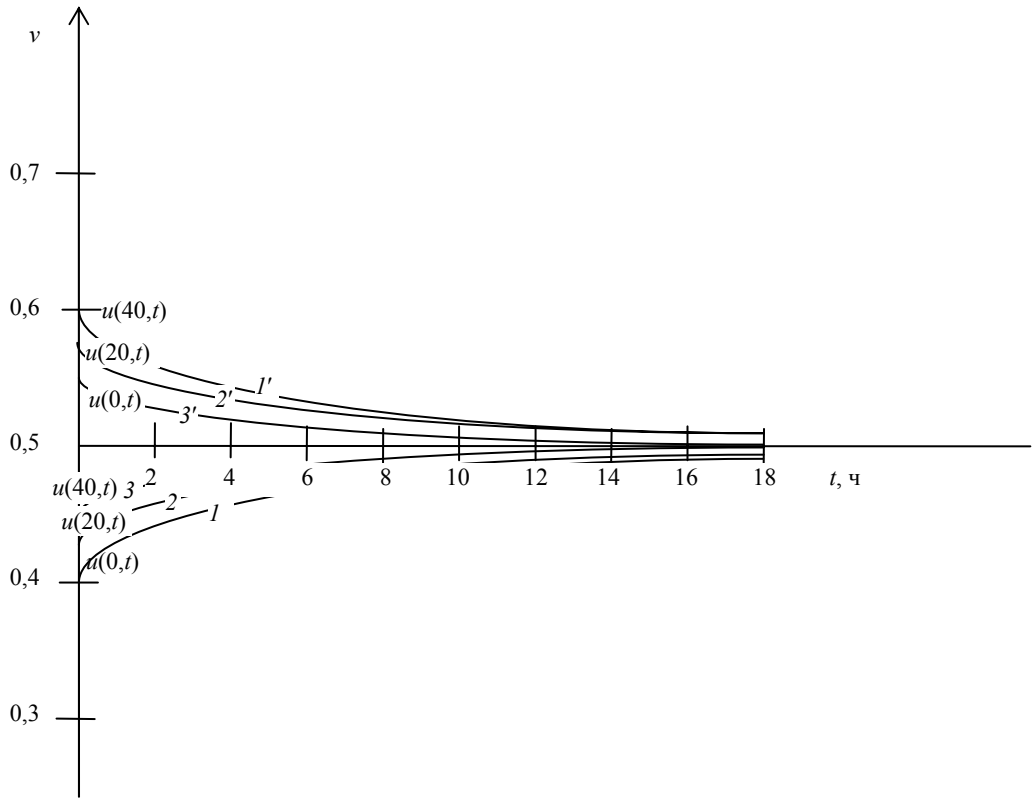


Рис. 2. Кривые переходных процессов при возмущении по концентрации вверху колонны для точек l = 0, 20, 40 м: *1′*, *2′*, *3′* – при увеличении $v(L,0)$ на 50 %; *1*, *2*, *3* – при уменьшении $v(L,0)$ на 50 %

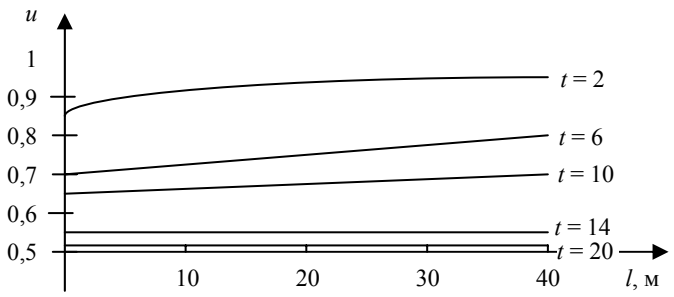


Рис. 3. Профиль концентраций в жидкости по длине колонны при возмущении на 50 % вверху колонны для различных t, ч

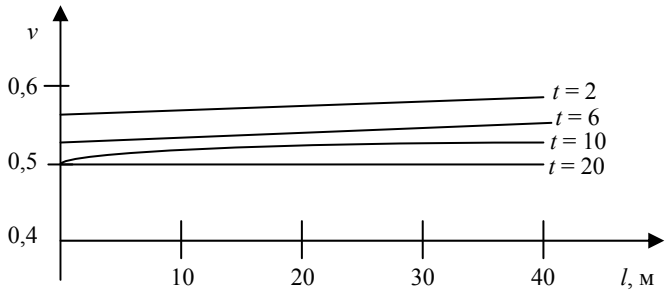


Рис. 4. Профиль концентраций в паре по длине колонны в различные моменты времени при возмущении на 50 % вверху колонны для различных t, ч

Для этих коэффициентов все $\mathrm{Re}\lambda < 0$, что обеспечивает сходимость процесса. Кроме того, можно определить время установления $\tau = \max \frac{1}{|\mathrm{Re}\lambda|} = 6,39$ ч, за которое амплитуда самой медленной гармоники уменьшается в *c* раз.

В сложных химико-технологических установках, состоящих из ряда соединенных аппаратов и имеющих систему потоков взаимодействия их сред, параметры которых чувствительны к возмущениям, все более важным становится построение высокоэффективных систем контроля и управления. Однако прежде чем создавать такие системы управления, полагая основным ее звеном управляемый объект, необходимо улучшить статические и динамические характеристики этого объекта.

В данной статье предложен подход к решению задачи моделирования нестационарных режимов объектов с рециркуляцией взаимодействующих потоков (ректификационных установок), основанный на математическом аппарате, содержащем дифференциальные уравнения в частных производных. Для исследования процессов установления применялся метод стоящих волн, который позволяет получить сведения не только о качестве и характере процессов установления, но и определить важные характеристики времени установления, резонансные свойства системы и выявить области неустойчивости в пространстве параметров системы.

Библиографические ссылки

1. Демиденко Н. Д., Потапов В. И., Шокин Ю. И. Моделирование и оптимизация систем с распределенными параметрами. Новосибирск : Наука, 2006.

2. Демиденко Н. Д. Управляемые распределенные системы. Новосибирск : Наука, 1999.

3. Лаврентьев А. М. Методы теории функций комплексного переменного. М. : Наука, 1973.

N. D. Demidenko

INVESTIGATION OF STATIC AND DYNAMIC REGIMES OF MASS TRANSFER PROCESSES

A mathematical model for mass transfer process in rectification columns of poppet type is obtained. At the result of the investigation the ordinary differential equations system is obtained with the transition to equations in partial derivatives. Investigations of processes of detection establishment of mass transfer processes in dynamic regimes are performed. Static and dynamic characteristics for industrial rectification columns are calculated.

Keywords: static and dynamic regimes, the transients, transient periods, method of superposition of standing waves, asymptotics.

© Демиденко Н. Д., 2011

УДК 004.652.4

Д. В. Жучков

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО OLAP-АНАЛИЗА*

Описан подход к обеспечению возможности ретроспективного OLAP-анализа путем реализации механизмов наследования для аналитических измерений многомерных OLAP-кубов. Предлагаемый подход основан на использовании полей периода действия, журналов изменений и ретроспективных представлений.

Ключевые слова: OLAP-анализ, ретроспективный анализ, измерение, наследование, период действия.

Многомерная модель данных в технологии оперативной аналитической обработки (On-line Analytical Processing, OLAP) оперирует двумя базовыми понятиями: таблицами фактов и таблицами измерений. Таблицы фактов включают в себя описания некоторых событий реальной жизни (фактов) в разрезе показателей (Measures) и измерений (Dimensions), а таблицы измерений содержат шкалы, по которым анализируются показатели [1]. Как правило, таблицы измерений состоят из редко изменяемого набора значений, исчерпывающе описывающего отдельный признак исследуемого объекта предметной области. Частота модификации измерений при этом может меняться в широком диапазоне. Например, измерения «месяцы», «пол» не изменяются никогда, измерения «страны», «города» изменяются очень редко, измерения «подразделения», «виды деятельности» – довольно редко, а измерения «клиенты», «проекты» – сравнительно часто.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (ГК № 02.740.11.0621 от 29 марта 2010 г.).

В тех случаях когда измерения подвержены периодическим изменениям, возникает задача представления таких измерений, чтобы обеспечить возможность ретроспективного анализа данных [2; 3]. Для решения этой задачи необходимо, чтобы все факты, относящиеся к разным периодам времени, при анализе ссылались именно на то состояние измерения, которое было на момент возникновения факта. Кроме того, нужно обеспечить возможность плавного перехода от одного периода времени к другому, с прозрачным для пользователя преобразованием изменяющихся во времени значений измерения.

В ходе решения этой задачи автором были разработаны методы и средства для поддержки темпоральной (временнóй) целостности и реализации механизмов наследования в справочниках и классификаторах, используемых в качестве аналитических OLAP-измерений для оперативной аналитической обработки больших объемов многомерных данных.

Суть методики поддержки темпоральной целостности состоит в следующем. В структуру справочника, представляющего таблицу измерения, вводятся *поля периода действия* (Validity Fields) и для каждого измерения создается *журнал изменений* (Log Table), отражающий полную историю модификации данных в измерении. С использованием журнала изменений строится специализированное *ретроспективное представление* (Retrospective View), отражающее состояние измерения в различных временных периодах. Это представление замещает собой оригинальное измерение при анализе данных, а механизмы аналитического OLAP-инструмента модифицируют запросы к данным таким образом, чтобы из представления выбирались записи, соответствующие заданному периоду времени.

Реализация механизмов наследования данных в аналитических измерениях основана на использовании *идентифицирующих полей* (Identity Fields), т. е. полей, изменение которых является достаточным условием для прекращения действия записи и создания на ее основе новой записи с установкой наследственной связи между этими двумя записями. Наследственные связи, возникающие между записями измерения в ходе модификаций, фиксируются в специальной *таблице истории преобразования* (History Table). Эта таблица также используется при создании ретроспективного представления для определения взаимосвязей между записями разных периодов времени и обеспечения прозрачного перехода между ними.

Поддержка темпоральной целостности. Для обеспечения временной целостности данных в структуру каждого аналитического измерения вводится семь служебных полей, отвечающих за хранение периода действия записи:

– дата и основание введения записи в действие;
– дата и основание прекращения действия записи;
– дата и основание последней модификации записи;
– дата фактического создания записи.

Средствами автоматизированной системы, отвечающей за управление измерениями, обеспечивается контроль заполнения этих полей соответствующими значениями в течение времени жизни записи. Все перечисленные поля, кроме полей прекращения действия, обязательны для заполнения в каждой записи. Дата и основание прекращения действия записи, как правило, остаются пустыми для действующих записей. Если же срок и основание прекращения действия записи становятся известными заранее, то они также могут быть указаны.

Введение в структуру измерения сведений о периоде действия записи позволяет отслеживать область видимости каждой записи на шкале времени. Благодаря этому становится возможной автоматическая фильтрация записей измерения в зависимости от установленной даты.

Для каждого измерения создается служебная таблица – журнал изменений, который предназначен для хранения сведений обо всех модификациях данных в измерении. Журнал изменений включает в себя все поля таблицы измерения, в том числе поля периода действия, а также содержит дополнительные поля: «Тип операции» и «Автор операции». В поле «Тип операции» фиксируется характер операции: Insert, Update, Delete. В поле «Автор операции» сохраняются данные о пользователе, которые выполнил указанную операцию. Фиксация данных в журнале изменений производится полностью автоматически с помощью соответствующих триггеров базы данных. В результате в журнале накапливается исчерпывающая информация обо всех изменениях аналитического измерения, начиная с момента его создания.

Система разделения прав доступа обеспечивает защиту журналов от любых операций, кроме вставки новых данных и чтения. Таким образом, данные, содержащиеся в журнале изменений, могут использоваться не только для ретроспективного анализа данных, но и для контроля и анализа изменений, производимых пользователями.

Наследование данных в измерениях. Вторым элементом рассматриваемой задачи является хранение информации о переходе одной записи в другую с течением времени, т. е. реализация механизмов наследования записей. В этом случае для записей аналитического измерения вводятся термины «потомок» и «предок». Запись считается потомком другой записи, если необходимо обеспечить наследственную преемственность анализируемых данных. Для этого должен быть зафиксирован факт наследственного перехода одной записи в другую.

Для одной записи измерения теоретически возможно существование разного числа предков и потомков в границах от 0 до N. Таким образом, в зависимости от условий перехода, т. е. от числа предков и числа потомков, насчитывается $3^2 = 9$ вариантов наследственных переходов (см. таблицу и рис. 1).

Представленные варианты наследственных переходов являются исчерпывающим списком, и их реализация позволит обеспечить любые практические потребности наследования данных в аналитических измерениях.

Варианты наследственных переходов

№ п/п	Число предков	Число потомков	Описание перехода
1	0	0	Редактирование существующей записи
2	0	1	Создание новой записи
3	1	0	Прекращение действия записи без наследника
4	0	*N*	Создание нескольких новых записей
5	1	1	Прямое наследование – прекращение действия записи с указанием потомка-наследника
6	1	*N*	Множественное наследование – прекращение действия записи с указанием нескольких наследников
7	*N*	0	Прекращение действие записей без наследников
8	*N*	1	Слияние записей – прекращение действия нескольких записей с указанием одного прямого наследника для всех записей
9	*N*	*N*	Прекращение действия нескольких записей с указанием нескольких наследников для каждой записи

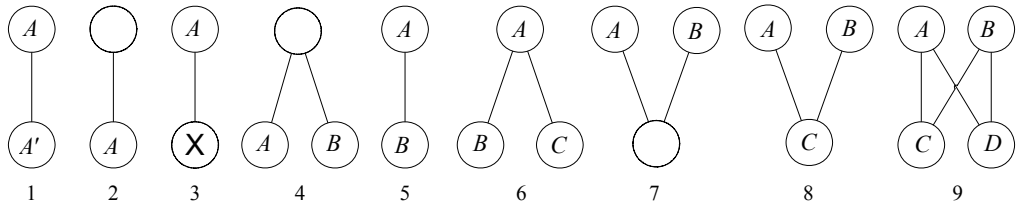


Рис. 1. Графическое представление наследственных переходов (кружками с прерывистой линией границы обозначены не существовавшие ранее записи, а также записи, прекратившие действие)

Механизмы наследования данных. Для хранения информации о наследственных переходах записей измерения создается еще одна служебная таблица – таблица истории преобразования, имеющая следующую структуру:

– ключевое поле;
– ссылка на предка;
– ссылка на потомка;
– дата создания записи в истории.

При необходимости таблица истории преобразования может быть расширена дополнительными атрибутивными полями. Средства автоматизированной системы, управляющей аналитическими измерениями, должны обеспечивать фиксацию в истории преобразования информации о наследственных переходах между записями.

Для автоматизации контроля наследственных переходов записей вводятся идентифицирующие поля. Как мы уже отмечали выше, идентифицирующим называется поле записи измерения, при изменении которого необходимо прекратить действие текущей записи, оставив значение поля неизмененным, и создать новую запись с новым значением поля. При этом вновь созданная запись назначается прямым потомком записи, прекратившей действие, т. е. в таблицу истории преобразования добавляется соответствующая запись.

Предлагаемая структура таблицы истории преобразования позволяет реализовать хранение данных о любом варианте наследственных переходов, описанных выше. При этом необходимо отметить, что варианты 6 и 9 со множественным наследованием представляют определенную сложность при аналитической обработке данных. При появлении таких вариантов следует тщательно контролировать результаты обработки данных.

Ретроспективное представление и его использование. Заключительным шагом методики поддержки темпоральной целостности данных является создание специализированного ретроспективного представления, отражающего все изменения записей измерения во времени. Главной задачей этого представления является замещение оригинального измерения при выполнении аналитических запросов к данным.

Для построения ретроспективного представления определяются ключевые точки в жизни каждой записи измерения. Это такие моменты, как создание записи, изменение неидентифицирующих полей и прекращение действия записи (как с объявлением наследника, так и без него).

В результате соединения основной таблицы измерения, журнала изменений и истории преобразования формируется выборка данных, в которой каждая из записей оригинального измерения представлена одной или несколькими строками в зависимости от количества ключевых точек (рис. 2). Для каждой строки в этом представлении обязательно заполняются поля «Дата начала действия» и «Дата окончания действия записи».

Измерение

Ключ	Имя	Дата создания	Дата отмены
100	A3	01.01.2010	---

Журнал изменений

Ключ	Имя	Дата изменения
100	A1	01.01.2010
100	A2	01.05.2010
100	A2	01.01.2011
100	A3	01.04.2011

Ретроспективное представление

Ключ	Имя	Начало	Окончание
100	A1	01.01.2010	01.05.2010
100	A2	02.05.2010	01.04.2011
100	A3	02.04.2011	…

Рис. 2. Пример формирования ретроспективного представления

Таким образом, в результате проведенного исследования в аналитический OLAP-инструментарий добавлена возможность использовать данные о периоде действия записей для соединения данных таблиц фактов с соответствующими строками ретроспективного представления.

Плавность и прозрачность просмотра результатов анализа обеспечивается за счет использования информации о наследственных переходах между записями измерения.

Библиографические ссылки

1. Kimball R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling. 2nd ed. N. Y. : Wiley Computer Publishing, 2002.

2. Slowly Changing Dimension [Electronic resource]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Slowly_changing_dimension (data of visit: 30.10.2011).

3. Change Data Capture [Electronic resource]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Change_data_capture (date of visit: 30.10.2011).

D. V. Zhuchkov

REALIZATION OF INHERITANCE MECHANISMS FOR CONFIRMATION OF RETROSPECTIVE OLAP-ANALYSIS

The approach to confirmation of the retrospective OLAP-analysis by means of realization of mechanisms of inheritance in analytical dimensions of multidimensional OLAP-cubes is described. The suggested approach is based on the usage of fields of validity period, log tables and retrospective views.

Keywords: OLAP, retrospective analysis, dimension, inheritance, validity period.

© Жучков Д. В., 2011

УДК 625.084/085:625.855.3

В. И. Иванчура, А. П. Прокопьев

ОПТИМИЗАЦИЯ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Проведено исследование следящей системы автоматического управления. Рассмотрена динамическая система рабочего органа асфальтоукладчика с гидроприводом. Задача разработки имитационной модели системы автоматического управления рабочим органом укладчика решена с помощью программы Matlab&Simulink. Предложен метод моделирования адаптивных систем управления нелинейными динамическими объектами на примере следящей системы укладчика с учетом динамики процессов в приводе, в которых имеет место уменьшение ошибки регулирования.

Ключевые слова: автоматическое управление, следящая система, структурно-параметрическая оптимизация, устойчивость системы.

Создание эффективной системы автоматического управления (САУ), построенной на основе априорной информации о нелинейных динамических объектах управления, развитие следящих САУ на основе внедрения результатов теоретических и экспериментальных разработок, а также современных информационных технологий, с учетом динамики подсистем привода являются актуальными научными задачами.

Проведем исследование следящих систем автоматического управления на примере следящей

САУ рабочего органа асфальтоукладчика с гидроприводом.

Разработка имитационной модели управления движением рабочего органа укладчика. При перемещении укладчика по основанию, готовому для укладки на него дорожного покрытия, его ходовое оборудование (гусеничное или колесное) совершает неуправляемые случайные перемещения в вертикальном направлении под воздействием неровностей микрорельефа основания дороги. Эти перемещения передаются через раму укладчика и подвеску выглаживающей плиты на рабочее оборудование, вызывая в свою очередь неуправляемые перемещения выглаживающей плиты, которые влекут за собой случайное изменение толщины и угла поперечного уклона укладываемого слоя, тем самым ухудшая показатели качества покрытия.

Имитационная модель следящей системы гидропривода выглаживающей плиты асфальтоукладчика реализована в программе MATLAB&Simulink (рис. 1).

В состав схемы имитационной модели входят следующие элементы:

– гидроцилиндр двунаправленного действия;
– трехпозиционный гидрораспределитель;
– гидравлический насос;
– управляемый гидрозамок;
– идеальный гидравлический датчик давления;
– элемент «выглаживающая плита асфальтоукладчика»;
– сенсор, дающий информацию о перемещении и скорости штока гидроцилиндра (датчик обратной связи Sensor);
– идеальный сенсор силы;
– элемент «гидравлическая жидкость» (масло Oil-30W);
– пропорциональный сервоклапан гидропривода (электрогидравлический распределитель, преобразующий электрического сигнала в перемещение);
– элемент «вязкое трение»;
– идеальный источник силы;
– возмущающее воздействие «микрорельеф»;
– PS-конвертор;
– емкость для рабочей жидкости;
– возмущающее воздействие, обусловленное влиянием работы других элементов.

Результаты моделирования следящей системы в диапазоне заданного перемещения от 0,005 м до 0,25 м с шагом 0,05 приведены в таблице.

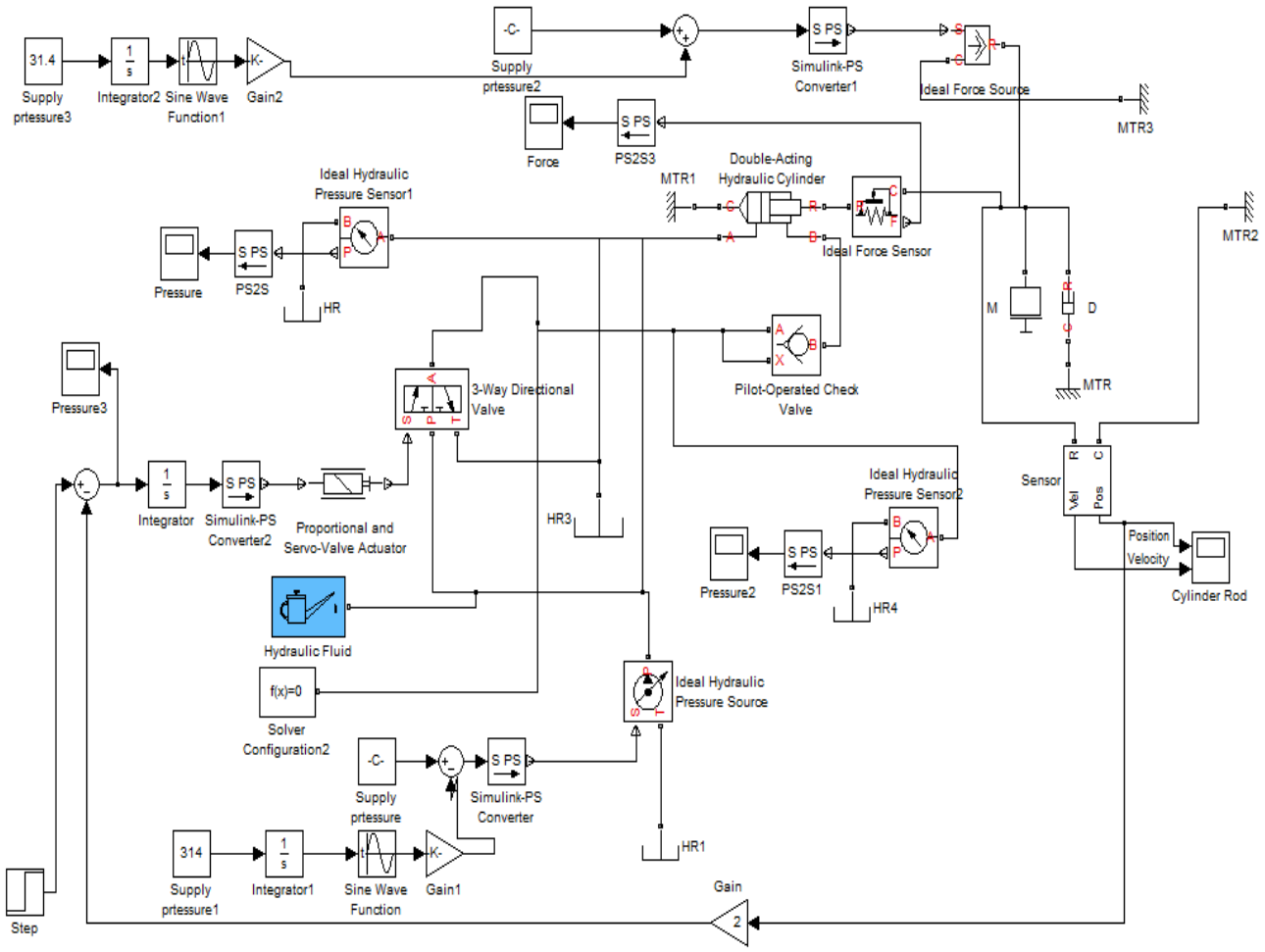


Рис. 1. Схема имитационной модели следящей системы гидропривода выглаживающей плиты укладчика, полученная в программе MATLAB&Simulink

Результаты моделирования

Заданное перемещение, м	Средняя скорость, м/с	Время отработки, с	Перерегулирование, %	Усилие на штоке, Н
0,005	0,022	0,38	14,00	$6{,}10 \cdot 10^4$
0,055	0,212	0,31	1,80	$6{,}12 \cdot 10^4$
0,10	0,22	0,48	0,67	$4{,}30 \cdot 10^4$
0,15	0,22	0,68	0,67	$5{,}80 \cdot 10^4$
0,20	0,22	0,95	0,75	$6{,}80 \cdot 10^4$
0,25	0,22	1,10	0,40	$8{,}00 \cdot 10^4$

Структурно-параметрическая оптимизация. Выбор регулятора. При проектировании систем управления объектами, не содержащими чистого запаздывания, наибольшее применение получили два критерия: модульный оптимум (МО) и симметричный оптимум. В данной статье используется критерий модульного оптимума.

Настройка системы по критерию МО обеспечивает малое перерегулирование и достаточно быстрое протекание переходного процесса.

Если пренебречь постоянными времени датчиков и упругостью, то уравнения динамики, характеризующие перемещение штока гидроцилиндра, могут быть представлены в следующем виде:

$$F(t) - F_c(t) = m\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{bdx(t)}{dt},$$

$$\frac{F(t) - F_c(t)}{m} - \frac{b}{m}\cdot\frac{dx(t)}{dt} - = \frac{d^2x(t)}{dt^2}, \qquad (1)$$

$$\frac{1}{m}\cdot\left(F(t) - F_c(t) - b\cdot\frac{dx(t)}{dt}\right) = \frac{d^2x(t)}{dt^2},$$

где $F(t)$ – воздействие, определяемое усилием на штоке цилиндра; $F_c(t)$ – воздействие, определяемое весом выглаживающей плиты укладчика; m – масса выглаживающей плиты укладчика, кг; b – параметр вязкого трения; x – перемещение, м.

По дифференциальным уравнениям (1) составим схему следящей системы гидропривода выглаживающей плиты укладчика (рис. 2) и получим передаточную функцию линейной части разомкнутой системы $W(p)$ (рис. 3):

$$W(p) = \frac{k_v}{p\cdot(T\cdot p+1)},$$

$$k_v = \frac{F_m}{b\cdot\Delta l}, \quad T = \frac{m}{b},$$

где k_v – добротность по скорости.

Для обеспечения устойчивости системы и астатизма второго порядка введем ПИ-регулятор. Тогда передаточная функция разомкнутой системы будет иметь следующий вид:

$$W(p) = \frac{k_\varepsilon\cdot(T_p\cdot p+1)}{p^2\cdot(T\cdot p+1)} = \frac{B(p)}{C(p)}, \qquad (2)$$

где k_ε – добротность по ускорению; постоянная времени T_p является неизвестной величиной.

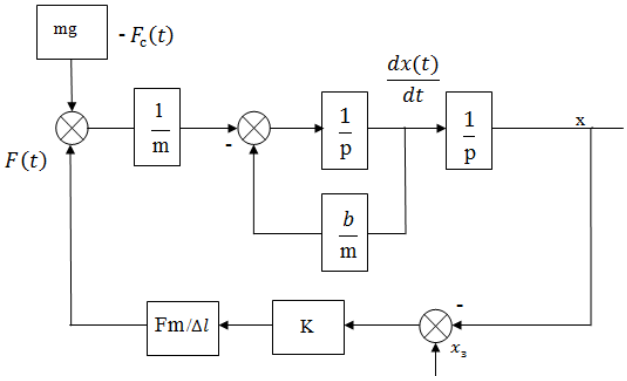


Рис. 2. Структурная схема следящей системы гидропривода выглаживающей плиты укладчика

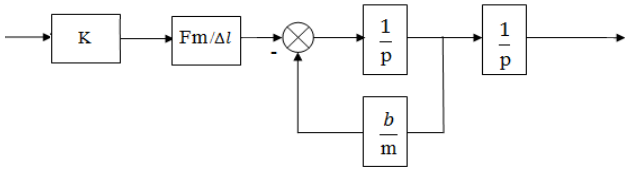


Рис. 3. Разомкнутая система гидропривода выглаживающей плиты укладчика

Этот параметр регулятора оптимизируем по критерию модульного оптимума, который требует, чтобы настраиваемая система по своим частотным и передаточным свойствам приближалась к идеальному фильтру низкой частоты [2]. Тогда при отсутствии помехи на входе система будет наилучшим образом воспроизводить задающее воздействие и подавлять возмущение.

Приведем характеристическое уравнение к нормированному виду, учитывая только знаменатель:

$$D(p) = T\cdot p^3 + p^2 + k_\varepsilon\cdot T_p\cdot p + k_\varepsilon = C(p) + B(p).$$

Разделим числитель и знаменатель передаточной функции ПИ-регулятора (2) на k_ε:

$$K(p) = \frac{(T_p\cdot p+1)}{\frac{T}{k_\varepsilon}p^3 + \frac{1}{k_\varepsilon}p^2 + T_p\cdot p + 1} = \frac{B(p)}{C(p)+B(p)} = D(p).$$

Определим масштабный множитель $T_м$:

$$T_м^3 = \frac{T}{k_\varepsilon}, \quad \overline{p} = T_м \cdot p,$$

где $\overline{p}$ – оператор Лапласа, соответствующий безразмерному (относительному) времени.

Перейдем к уравнению безразмерных p в знаменателе:

$$\overline{p}^3 + \frac{T_м \cdot \overline{p}^2}{T} + \frac{T_р}{T_м} \cdot \overline{p} + 1,$$

$$\overline{p}^3 + A_1 \cdot \overline{p}^2 + A_2 \cdot \overline{p} + 1,$$

$$\frac{T_м}{T} = A_1, \quad \frac{T_р}{T_м} = A_2,$$

где A_1, A_2 – коэффициенты, которые соответствуют коэффициентам фильтра Баттерворта. Они обеспечивают желаемую форму амплитудной характеристики [1].

Определим следующие соотношения:

$$\frac{T_м}{T} = 2, \quad \frac{T_р}{T_м} = 2,$$

откуда

$$T_м = 2 \cdot T, \quad T_р = 2 \cdot T_м = 4 \cdot T.$$

В результате передаточная функция (2) примет следующий вид:

$$W(p) = \frac{k_\varepsilon \cdot (4 \cdot T \cdot p + 1)}{p^2 \cdot (T \cdot p + 1)}. \qquad (3)$$

Реализуем модель следящего гидропривода в программе MATLAB&Simulink, используя параметры ПИ-регулятора (3) с добавлением нелинейного элемента (с нелинейностью типа ограничения), обусловленного работой гидрораспределителя, а также добавим в схему фильтр, предназначенный для уменьшения перерегулирования (рис. 4).

При задании перемещения системы равным 0,125 м в диапазоне 0,005…0,25 м получим следующие результаты (рис. 5): система отрабатывает заданное перемещение; время отработки составляет 15 с, что значительно больше времени отработки при моделировании гидравлической схемы (это объясняется тем, что гидравлическая схема имеет более сложные процессы и моделирует значения, близкие к реальным параметрам; перерегулирование системы – 4 %.

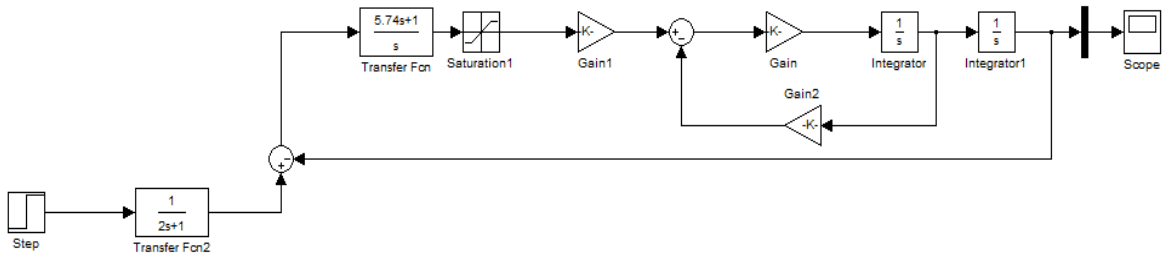


Рис. 4. Функциональная схема нелинейной следящей системы гидропривода выглаживающей плиты укладчика

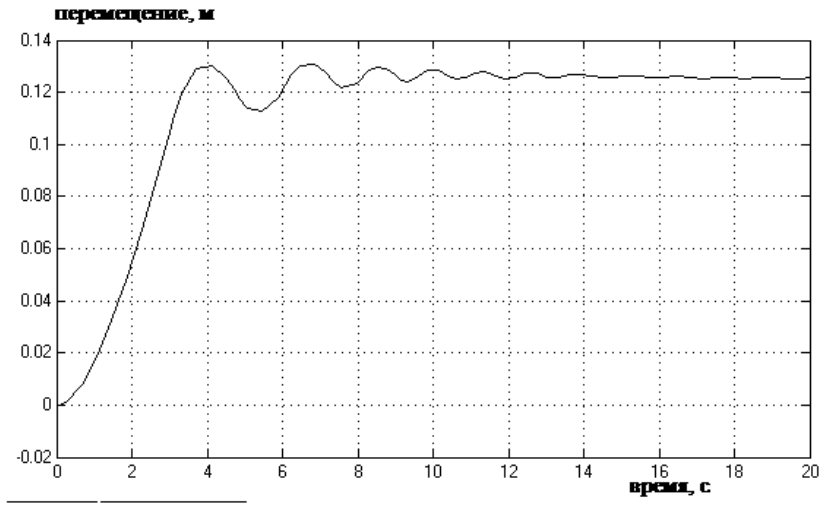


Рис. 5. Результат моделирования переходного процесса при задании перемещения системы 0,125 м

Исследование абсолютной устойчивости нелинейной системы с помощью критерия Попова. Абсолютной устойчивостью (равновесием) называется устойчивость системы при любых начальных отклонениях для любой формы нелинейной характеристики, принадлежащей к одному из определенных классов. Нелинейности считаются принадлежащими к одному классу, если их характеристики находятся в секторе [0, $k_н$] между осью абсцисс и прямой с угловым коэффициентом $k_н$.

Критерий Попова относится к частотным методам определения абсолютной устойчивости нелинейных систем. Сформулируем этот критерий для нелинейной системы, которая состоит из линейной части с амплитудно-фазовой характеристикой $W_л(j\omega)$ и нелинейного элемента с характеристикой $f(x_н)$, расположенной в секторе [0, $k_н$]: для абсолютной устойчивости равновесия достаточно, чтобы модифицированная характеристика $W^*_л(j\omega)$ не охватывала точку $(-1/k_н, 0)$ и через эту точку можно было провести прямую, не пересекающую характеристику $W^*_л(j\omega)$ (последняя лежит справа от прямой).

Определим устойчивость системы с помощью критерия Попова. Для этого нам необходимо построить модифицированный годограф, выражение для которого имеет вид

$$W^*_л(j\omega) = U(\omega) + j\omega V(\omega).$$

Для обеспечения абсолютной устойчивости модифицированный годограф линейной части должен располагаться левее кривой Попова – прямой, проходящей через точку $(-1/K, 0)$ под любым углом, где K – класс нелинейности.

Получим аналитическое выражение для модифицированного годографа линейной части:

$$W^*_л(j\omega) = U(\omega) + j\omega V(\omega).$$

Выполним замену переменных:

$$p = j\cdot\omega,$$

$$W^*_л(j\omega) = \frac{7\,240\,(4\cdot 1,43\cdot j\cdot\omega + 1)}{(j\cdot\omega)^2\cdot(1,43\cdot j\cdot\omega + 1)},$$

$$W^*_л(j\omega) = \frac{41\,412,8\cdot j\cdot\omega + 7\,240}{-1,43\cdot\omega^3\cdot j - \omega^2}.$$

Умножим числитель и знаменатель на сопряженное знаменателю:

$$W^*_л(j\omega) = \frac{(41\,412,8\cdot j\cdot\omega + 7240)\cdot(-1,43\cdot\omega^3\cdot j + \omega^2)}{(-1,43\cdot\omega^3\cdot j - \omega^2)\cdot(-1,43\cdot\omega^3\cdot j + \omega^2)},$$

$$W^*_л(j\omega) = U(\omega) + j\omega V(\omega),$$

$$W^*_л(j\omega) = \frac{-59\,220,304\cdot\omega^4 + 31\,059,6\cdot\omega^3\cdot j + 7\,240\cdot\omega^2}{-2,0449\cdot\omega^6 - \omega^4},$$

$$U(\omega) = \frac{-59\,220,304\cdot\omega^4 + 7\,240\cdot\omega^2}{-2,0449\cdot\omega^6 - \omega^4},$$

$$V(\omega) = \frac{31\,059,6\cdot\omega^3}{-2,0449\cdot\omega^6 - \omega^4},$$

$$W^*_л(j\omega) = \frac{-59\,220,304\cdot\omega^4 + 7\,240\cdot\omega^2}{-2,0449\cdot\omega^6 - \omega^4} + \frac{31\,059,6\cdot\omega^3}{-2,0449\cdot\omega^6 - \omega^4}\cdot\omega.$$

В результате получим годограф Попова, представленный на рис. 6, где частота измеряется от 0,01 до 1 000.

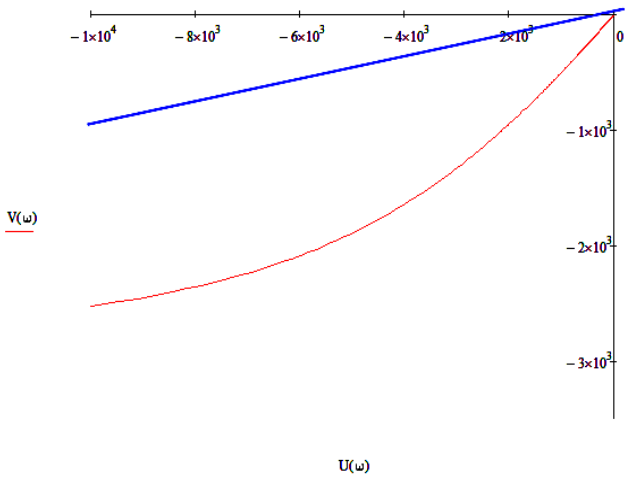


Рис. 6. Модифицированный годограф Попова

Следовательно, прямая Попова может быть проведена для любого положительного значения коэффициента передачи $k = 1$ нелинейного элемента так, что вся характеристика $W^*_л(j\omega)$ будет лежать справа от этой прямой.

Таким образом, исследуемая нелинейная система абсолютно устойчива при $k > 0$ [2].

Представленный в данной статье метод исследования и построения систем управления нелинейными динамическими объектами, рассмотренный на примере следящей системы автоматического управления, с учетом динамики процессов в гидроприводе, позволяет построить высококачественные системы автоматического управления, в которых имеет место уменьшение ошибки регулирования.

Библиографические ссылки

1. Иванчура В. И., Прокопьев А. П. Имитационное моделирование автоматической системы управления рабочим органом асфальтоукладчика // Передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях : тр. Международ. науч.-практ. конф. / Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова Рос. акад. наук. М., 2011.

2. Лукас В. А. Теория автоматического управления. М. : Недра, 1990.

3. Тюкин В. Н. Теория управления. Ч. 2. Особые линейные и нелинейные системы / Вологод. гос. техн. ун-т. Вологда, 2000.

V. I. Ivanchura, A. P. Prokopiev

OPTIMIZATION OF A TRACKER SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL

The paper is devoted to theoretical and practical problems of a servo system of automatic control. The dynamical system of the working body with hydraulic stacker is considered. The task of development of a simulation model of automatic control system of the working body of the Stacker is considered with the use of Matlab & Simulink program. The results of the study are presented. The proposed method of modeling of adaptive systems of control of nonlinear dynamic objects, on the example of the tracker system of a stacker, with the account of dynamics of processes in the drive, in which the operating deviations decrease.

Keywords: automatic control, sensor system, structural and parametric optimization, system stability.

© Иванчура В. И., Прокопьев А. П., 2011

УДК 004.6

А. В. Коробко, Т. Г. Пенькова

АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ OLAP-МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ*

Описаны алгоритмы формирования интегральной OLAP-модели на основе поиска кубов-концептов по формальному контексту и построения концептуальной решетки OLAP-кубов. С применением разработанных алгоритмов построена интегральная OLAP-модель научной деятельности организации.

Ключевые слова: интегральная OLAP-модель, оперативная аналитическая обработка данных, формальный концептуальный анализ.

Эффективность оперативной аналитической обработки данных на основе технологии OLAP (On-Line Analytical Processing) во многом определяется адекватностью модели предметной области [1]. Как правило, для оперативной аналитической обработки данных создается набор локальных OLAP-моделей, представляющий собой фрагментарную аналитическую модель предметной области [2–4]. С точки зрения теории и практики интересно построение интегральной аналитической модели, объединяющей множество частных OLAP-моделей, позволяющей манипулировать всеми аспектами и характеристиками анализируемого процесса и охватывающей максимальное число решаемых аналитических задач.

Для построения интегральной аналитической модели предметной области предложен метод концептуального OLAP-моделирования на основе анализа формальных концептов, позволяющий строить интегральную OLAP-модель предметной области в виде формальной решетки многомерных кубов [5]. Реализация предложенного метода требует разработки алгоритмов поиска кубов-концептов на основе контекста предметной области и построения концептуальной решетки OLAP-кубов.

Существующие на сегодняшний день алгоритмы генерации формальных концептов подробно рассмотрены в работах [6–9]. Как правило, эти алгоритмы разработаны без учета требований быстродействия и не ориентированы на обработку объектов OLAP-анализа.

В данной работе предлагаются алгоритм поиска кубов-концептов и алгоритм построения концептуальной решетки кубов, позволяющие формировать интегральную OLAP-модель предметной области на множестве всех объектов анализа. Свойства концептуальной решетки дают возможность оперировать всеми объектами анализа и выявлять аналитические зависимости, что повышает эффективность оперативной аналитической обработки данных.

Метод концептуального OLAP-моделирования предметной области. Метод концептуального OLAP-моделирования основан на интеграции технологии оперативной аналитической обработки многомерных данных и анализа формальных концептов [5; 10; 11].

Согласно предложенному методу, интегральная OLAP-модель предметной области представляет собой концептуальную решетку многомерных кубов. Основу интегральной модели составляет множество объектов оперативной аналитической обработки данных: множество показателей $F = \{f_1, f_2, \ldots, f_m\}$ и множество измерений $D = \{d_1, d_2, \ldots, d_n\}$. Количественные характеристики анализируемого процесса образуют множество показателей, аспекты анализа предметной области образуют множество измерений.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (ГК № 02.740.11.0621 от 29 марта 2010 г.).

Между элементами множеств F и D определяется отношение сопоставимости R – возможность совместной аналитической обработки показателей и измерений; $R \subseteq F \times D$, $(f_i, d_j) \in R$, если показатель f_i может быть проанализирован по измерению d_j. Тройка (F, D, R), в соответствии с методами анализа формальных концептов [12], представляет собой формальный контекст K. Формальный контекст отражает знания эксперта об объектах анализа предметной области и о возможности их совместной аналитической обработки.

На основе формального контекста K определяется множество кубов-концептов по признаку сопоставимости объектов анализа.

Для произвольных $X \subseteq F$ и $Y \subseteq D$ определяется операция «штрих» следующим образом:

$$X' = \{d \in D \mid \forall f \in X\,(fRd)\};$$
$$Y' = \{f \in F \mid \forall d \in Y\,(fRd)\}.$$

Пара (A, B), где $A \subseteq F$, $B \subseteq D$ такие, что $A = B'$ и $B = A'$, называется кубом-концептом контекста K. Множество A состоит из показателей одинаковой размерности, которые могут быть проанализированы по всем измерениям из B. Пара (A, B) – многомерный куб, полный относительно добавления показателей той же размерности и состава измерений. Это означает, что невозможно включить в такой OLAP-куб дополнительный показатель без уменьшения числа измерений, т. е. в рамках построенного формального контекста не существует других показателей, сопоставимых с тем же набором измерений. Множество показателей A представляет *объем* куба-концепта, а множество измерений B – *содержание* куба-концепта.

Множество всех кубов-концептов частично упорядочено отношением подкуб-надкуб: $(A_1, B_1) < (A_2, B_2)$ если $A_1 \subseteq A_2$ и $B_2 \subseteq B_1$. В этом случае будем говорить, что (A_1, B_1) – *подкуб* (A_2, B_2), а (A_2, B_2) – *надкуб* (A_1, B_1). Множество показателей надкуба включает множество показателей подкуба, а, в свою очередь, множество измерений подкуба включает множество измерений надкуба. Упорядоченное отношением подкуб-надкуб множество всех кубов-концептов образует решетку OLAP-кубов, которая представляет собой интегральную OLAP-модель предметной области.

Для реализации метода концептуального OLAP-моделирования разработаны алгоритмы поиска кубов-концептов на основе контекста предметной области и построения концептуальной решетки OLAP-кубов.

Алгоритм поиска кубов-концептов на основе контекста предметной области. Алгоритм поиска кубов-концептов на основе контекста предметной области представляет собой итеративную реализацию метода Крайеса [6].

Алгоритм поиска кубов-концептов заключается в пошаговом сравнении объемов ранее обнаруженных кубов-концептов с множеством показателей, доступных для совместной аналитической обработки с каждым из измерений контекста. Рассмотрим блок-схему алгоритма поиска кубов-концептов на основе контекста предметной области (рис. 1).

На первом шаге алгоритма множество кубов-концептов $B\,(K)$ содержит точную верхнюю границу множества кубов-концептов (супремум) – куб-концепт $(F, \varnothing)$, где F – множество всех показателей контекста K.

Затем путем перебора измерений d_j из D определяется множество показателей $\{d_j\}'$, доступных для совместной аналитической обработки с каждым измерением d_j, и сравнивается с объемом A_k куба-концепта (A_k, B_k) из $B\,(K)$, где $k = 1,|B\,(K)|$, где $|B\,(K)|$ – мощность множества $B\,(K)$. При этом индекс j определяется, как $\max\,\{j \mid d_j \in B_k\} + 1$ – следующий за максимальным индексом измерений из содержания B_k куба-концепта (A_k, B_k).

Если сформированный объем $\{d_j\}'$ и объем A_k существующего куба-концепта не пересекаются $(\{d_j\}' \cap A_k = \varnothing)$, то рассматривается следующее измерение. Если объемы совпадают $(\{d_j\}' \cap A_k = A_k)$, то содержание B_k куба-концепта (A_k, B_k) дополняется измерением d_j и алгоритм переходит к рассмотрению следующего измерения. Процесс добавления измерений к содержанию ранее обнаруженного куба-концепта называется наполнением куба-концепта.

В случае когда объемы не совпадают и их пересечение не пусто, формируется потенциально новый куб-концепт $(A_{\text{new}}, B_{\text{new}})$, где $A_{\text{new}} = \{d_j\}' \cap A_k$, $B_{\text{new}} = d_j$ и алгоритм переходит к проверке уникальности найденного куба-концепта.

Для проверки уникальности куба-концепта, путем перебора d_i из D определяется множество показателей $\{d_i\}'$, доступных для совместной аналитической обработки с каждым измерением d_i, и сравнивается с объемом A_{new} потенциально нового куба-концепта. Индекс $i = 1, j - 1$ при условии, что $d_i \notin B_k$.

Если все показатели A_{new} могут быть совместно проанализированы с измерением d_i, то объем A_{new} найденного куба-концепта $(A_{\text{new}}, B_{\text{new}})$ не является уникальным и алгоритм переходит к сравнению объема A_k куба-концепта (A_k, B_k) с множеством показателей $\{d_{j+1}\}'$.

Если A_{new} содержит хотя бы один показатель, который не может быть совместно проанализирован с измерением d_i, то объем A_{new} найденного куба-концепта $(A_{\text{new}}, B_{\text{new}})$ является уникальным относительно измерения d_i и алгоритм продолжает проверку уникальности объема потенциально нового куба-концепта относительно измерения d_{i+1}.

Уникальность объема A_{new} потенциально нового куба-концепта относительно всех проверенных измерений d_i означает, что $B\,(K)$ не содержит куба-концепта с таким набором показателей.

Далее для найденного уникального объема A_{new} определяется B_{new}, как объединение содержания B_k и измерений d_i. Проверенный новый куб-концепт $(A_{\text{new}}, B_{\text{new}})$ добавляется в $B\,(K)$ и алгоритм переходит к сравнению объема A_k куба-концепта (A_k, B_k) с множеством показателей $\{d_{j+1}\}'$.

В ходе работы алгоритма осуществляется наполнение ранее найденных кубов-концептов и обнаружение новых кубов-концептов, которые подлежат дальнейшему наполнению.

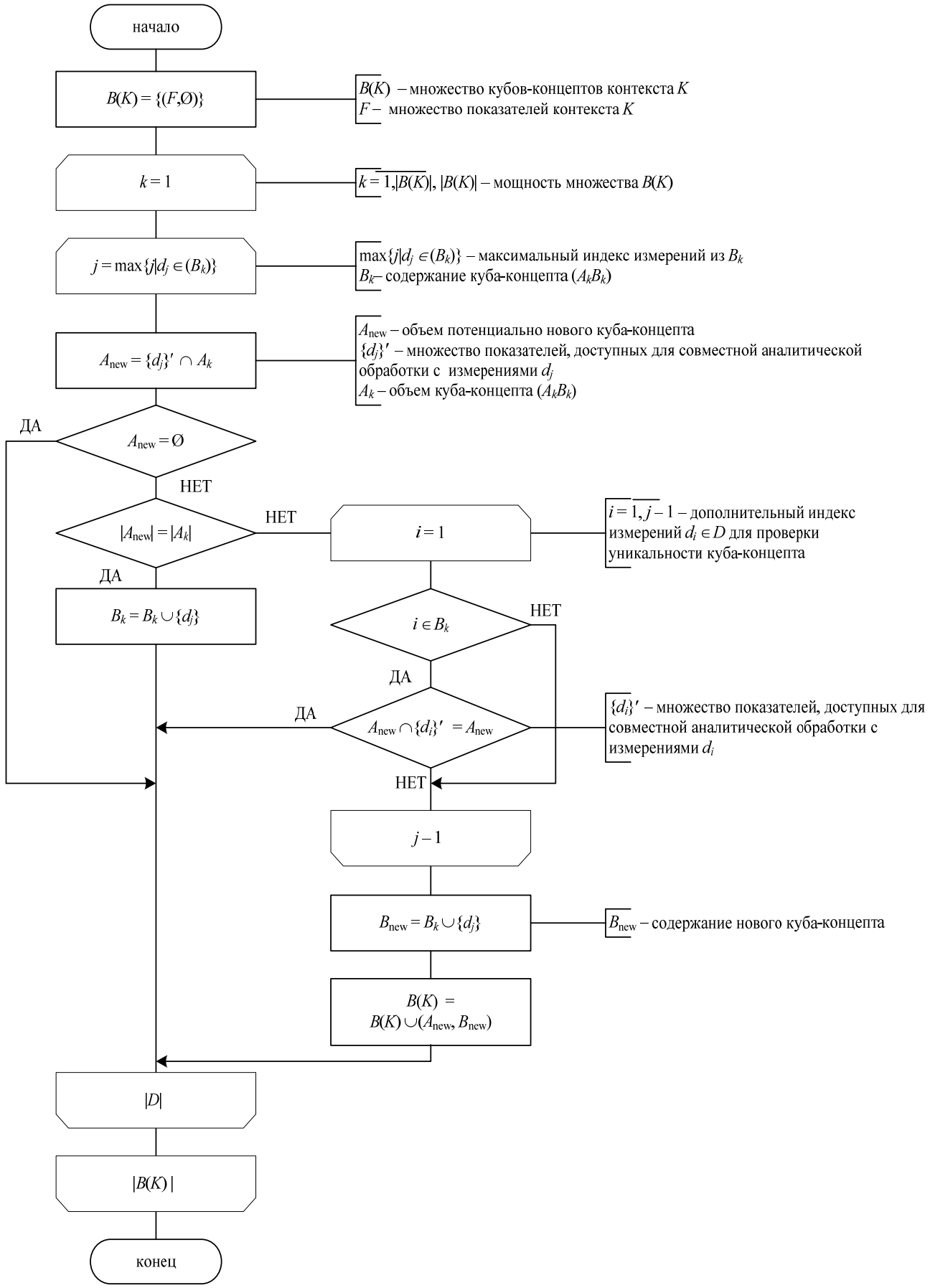


Рис. 1. Алгоритм поиска кубов-концептов на основе контекста предметной области

Все кубы-концепты контекста K считаются полными только по завершении работы алгоритма.

Таким образом, просматривая множество показателей и измерений формального контекста предметной области, формируется множество кубов-концептов.

Алгоритм построения концептуальной решетки OLAP-кубов. Алгоритм построения концептуальной решетки OLAP-кубов основан на алгоритме формирования концептуальной решетки NEIGHBORS [7–9] (рис. 2).

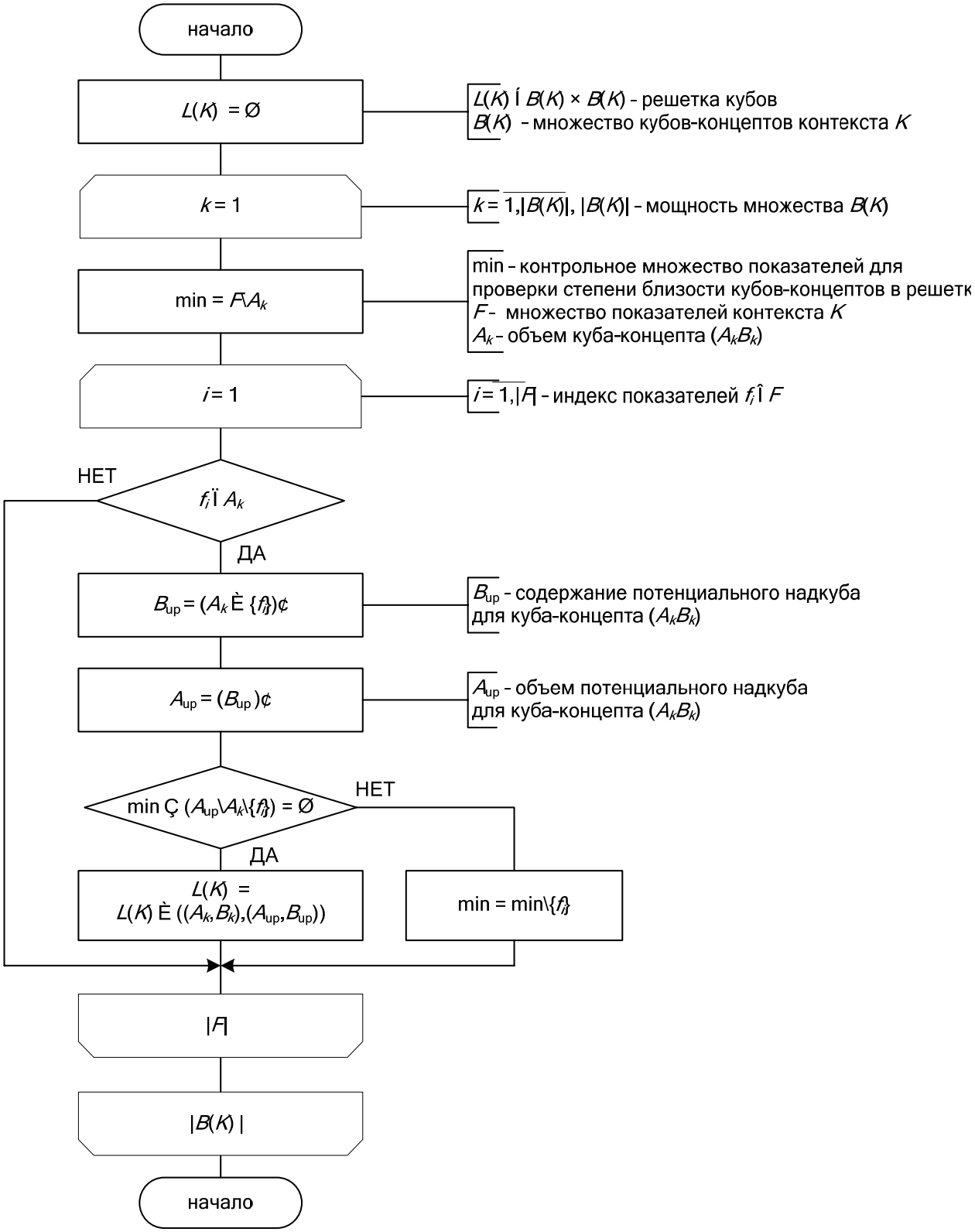


Рис. 2. Алгоритм построения концептуальной решетки OLAP-кубов

Задача данного алгоритма заключается в формировании пар кубов-концептов, находящихся в отношении частичного порядка подкуб-надкуб. Множество пар кубов-концептов из $B(K) \times B(K)$, упорядоченное отношением подкуб-надкуб, образует решетку OLAP-кубов $L(K) \subseteq B(K) \times B(K)$. Согласно методам анализа формальных концептов, свойства решетки такие, что если кубы-концепты $X = (A_x, B_x)$ и $Y = (A_y, B_y)$ находятся в отношении подкуб-надкуб $X < Y$, то $A_x \subseteq A_y$ и $B_y \subseteq B_x$. Исходя из данного свойства решетки, точная нижняя граница множества $B(K)$ (инфимум) не имеет подкуба. Следовательно, алгоритм заключается в поиске надкубов для каждого куба-концепта (A_k, B_k) из множества $B(K)$, начиная с инфимума и определении ближайшего надкуба, путем сопоставления объемов кубов-концептов.

На первом шаге алгоритма решетка кубов $L(K)$ не содержит ни одной пары кубов-концептов из $B(K) \times B(K)$.

Затем для каждого куба-концепта (A_k, B_k) из множества $B(K)$ определяется $\min = F \backslash A_k$ – контрольное множество показателей для проверки степени близости текущего куба-концепта и его потенциального надкуба.

Путем перебора показателей $f_i \in F$, где $i = 1,|F|$ при условии, что $f_i \notin A_k$, формируется потенциальный надкуб $(A_{\text{up}}, B_{\text{up}})$ по следующему принципу: $B_{\text{up}} = (A_k \cup \{f_i\})'$, $A_{\text{up}} = (B_{\text{up}})'$.

На следующем шаге с помощью контрольного множества min проверяется степень близости найденного потенциального надкуба к текущему кубу-концепту. Если объем A_{up} потенциального надкуба помимо показателей из $A_k \cup \{f_i\}$ содержит другие показатели из множества min, то из контрольного множества исключается показатель f_i, найденный потенциальный надкуб не является ближайшим для куба-концепта (A_k, B_k) и алгоритм переходит к рассмотрению следующего показателя $f_{i+1} \in F$. Иначе, найденный куб-концепт $(A_{\text{up}}, B_{\text{up}})$ считается надкубом для (A_k, B_k) и пара $((A_{\text{up}}, B_{\text{up}}), (A_k, B_k))$ добавляется в решетку $L(K)$ и алгоритм переходит к рассмотрению следующего показателя $f_{i+1} \in F$.

После рассмотрения всех показателей $f_i \in F$ алгоритм переходит к обработке следующего куба-концепта (A_{k+1}, B_{k+1}) из множества $B(K)$.

Таким образом, перебирая все кубы-концепты и сопоставляя их объемы, определяются ближайшие надкуб и подкуб, которые образуют ребро концептуальной решетки кубов.

При изменении контекста предметной области, связанного с добавлением (удалением) объектов анализа или добавлением (удалением) отношения сопоставимости между показателями и измерениями, выполняется адаптация концептуальной решетки кубов по описанным выше алгоритмам поиска кубов-концептов и формирования решетки OLAP-кубов.

Формирование интегральной OLAP-модели научной деятельности организации. Разработанные алгоритмы поиска формальных кубов-концептов и построения концептуальной решетки кубов применены для формирования интегральной OLAP-модели научной деятельности организации.

Исследование отчетных форм и решаемых аналитических задач позволяет эксперту сформировать множество терминов предметной области и на их основе определить объекты анализа:

– множество показателей – число публикаций; число патентов; число статей; число учебных пособий; число грантов; число проведенных конференций; количество сотрудников и т. д.;

– множество измерений – год; подразделение; тип пособия; город; название журнала; тип публикации; тип патента; статус конференции; автор и т. д.

С учетом сопоставимости показателей и измерений построен формальный контекст научной деятельности, который отражает знания эксперта об объектах анализа и возможности их совместной аналитической обработки. В контексте определены следующие элементы множества F = {*число публикаций*, *число проведенных конференций*, *число патентов*, *число статей*, *число учебных пособий*} и элементы множества D = {*год*, *подразделение*, *тип пособия*, *город*, *название журнала*, *тип публикации*, *тип патента*, *статус конференции*, *автор*}. Используя сокращенные обозначения, получены соответственно: $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\}$ и $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9\}$.

С помощью алгоритма поиска формальных кубов-концептов на основе построенного контекста определены кубы-концепты. Для рассматриваемого контекста найдено 8 кубов-концептов (рис. 3).

Концептуальная решетка OLAP-кубов, построенная с помощью разработанного алгоритма, представляет собой интегральную OLAP-модель научной деятельности организации (рис. 4).

Разработанные алгоритмы поиска кубов-концептов на основе контекста предметной области и алгоритм построения концептуальной решетки кубов позволяют реализовать метод концептуального OLAP-моделирования и формировать интегральную OLAP-модель предметной области на множестве всех объектов анализа. Свойства концептуальной решетки обеспечивают возможность оперировать одновременно всеми объектами анализа и выявлять аналитические зависимости, что позволяет повысить эффективность оперативной аналитической обработки многомерных данных. Практическим результатом работы стало построение интегральной OLAP-модели научной деятельности организации на основе разработанных алгоритмов.

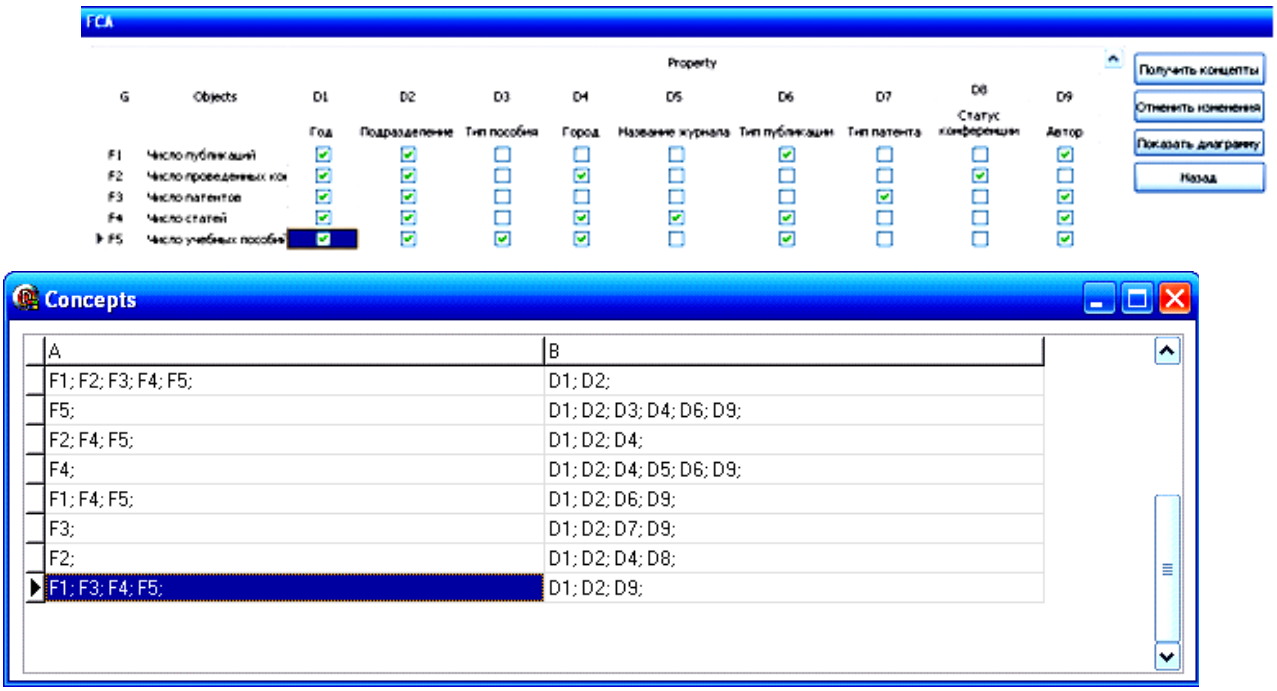


Рис. 3. Редактор формального контекста и сформированные кубы-концепты научной деятельности организации

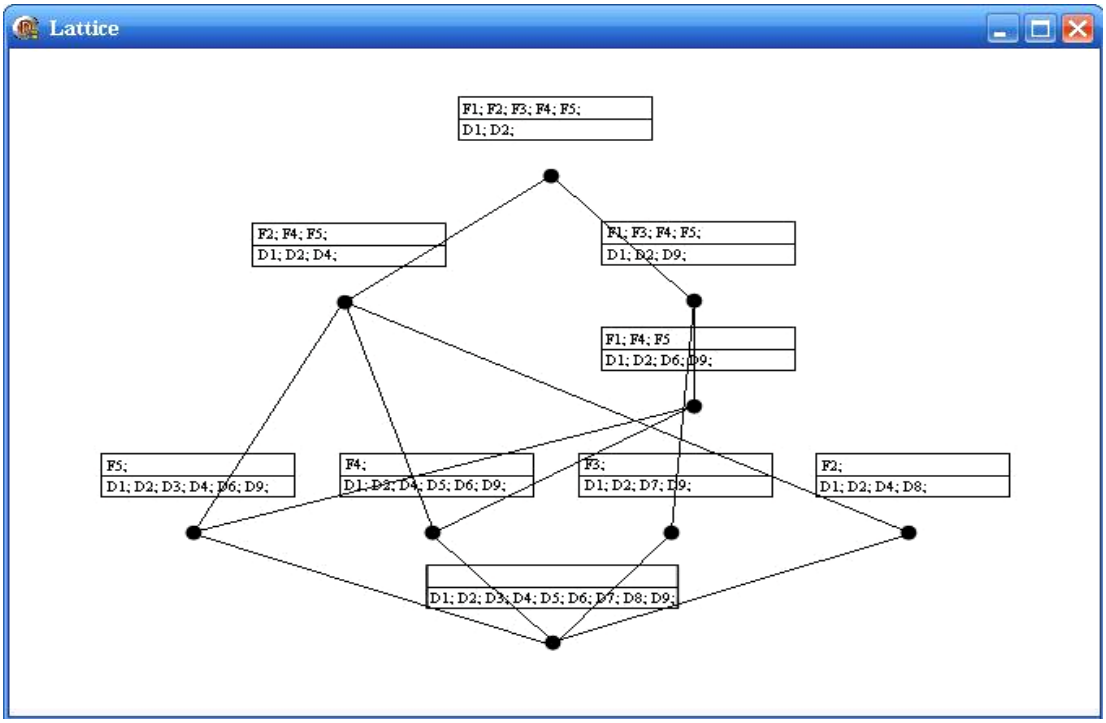


Рис. 4. Решетка кубов-концептов научной деятельности организации

Библиографические ссылки

1. Codd E. F., Codd S. B., Salley C. T. Providing OLAP. On-line Analytical Processing to User-Analists: An IT Mandate. Ann Arbor, Mich. : E. F. Codd & Associates, 1993.

2. Горелов Б. А., Горелов Б. Б. Разработка модели данных для целей оперативной аналитической обработки финансовой информации университета // Унив. управление. 2002. № 4(23). С. 33–46.

3. Ноженкова Л. Ф., Шайдуров В. В. OLAP-технологии оперативной информационно-аналитической поддержки организационного управления // Информ. технологии и вычисл. системы. 2010. № 2. С. 15–27.

4. Palaniappan S. Ling C. Clinical Decision Support Using OLAP With Data Mining // Intern. J. of Computer Science and Network Security. 2008. Vol. 8. № 9. P. 290–296.

5. Коробко А. В., Пенькова Т. Г. Метод концептуального OLAP-моделирования на основе формального концептуального анализа // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 74–79.

6. Krajca P., Outrata J., Vychodil V. Parallel Recursive Algorithm for FCA // Proc. of the Sixth Intern. Conf. on Concept Lattice and their Applicatons. Olomouc, 2008. P. 71–82.

7. Lindig C. Fast concept analysis // Proc. of the Intern. Conf. on Conceptual Structures (ICCS). Aachen : Shaker Verlag, 2000.

8. Concept Lattices : Second Intern. Conf. on Formal Concept Analysis / P. Eklund. Sydney, 2004. P. 23–26.

9. Kuznetsov S. O., Obiedkov S. A. Comparing Performance of Algorithms for Generating Concept Lattices // J. of Experimental and Theoretical Intelligence. 2002. Vol. 14. P. 189–216.

10. Korobko A., Penkova T. On-line analytical processing based on Formal concept analysis // Procedia Computer Science. 2010. Vol. 1. № 1. P. 2305–2311.

11. Penkova T.G., Korobko A.V. Constructing the integral OLAP-model based on Formal Concept Analysis // Proc. of the 34th Intern. Convention. Opatija, 2011. P. 225–229.

12. Wille R. Restructuring Lattice Theory: an approach based on hierarchies of concept. Dordrecht ; Boston : Reidel, 1982. P. 445–70.

A. V. Korobko, T. G. Penkova

ALGORITHMS OF COMPOSITION OF THE INTEGRAL OLAP-MODEL IN OBJECT DOMAIN

The algorithms of composition of an integral OLAP-model based on the search of cube-concepts and composition of concept lattice of OLAP- cubes are described. Suggested algorithms are supplemented for integral OLAP- model of scientific activity of an organization.

Keywords: integral OLAP-model, on-line analytical data processing, formal conceptual analysis.

© Коробко А. В., Пенькова Т. Г., 2011

УДК 681.142.2

В. А. Кравченко, П. Б. Могнонов, Д. Н. Чимитов

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАММАТИКАХ

Рассмотрен один из способов представления знаний (теорий) с помощью функциональных грамматик. Сделана попытка дать единую схему решения задачи путем ее погружения в функциональную грамматику теории. Показано, что вычисления на уровне типов с помощью функциональных грамматик имеют существенное значение для синтеза программ.

Ключевые слова: контекстно-ориентированное программирование, объектно-ориентированное программирование, структура данных.

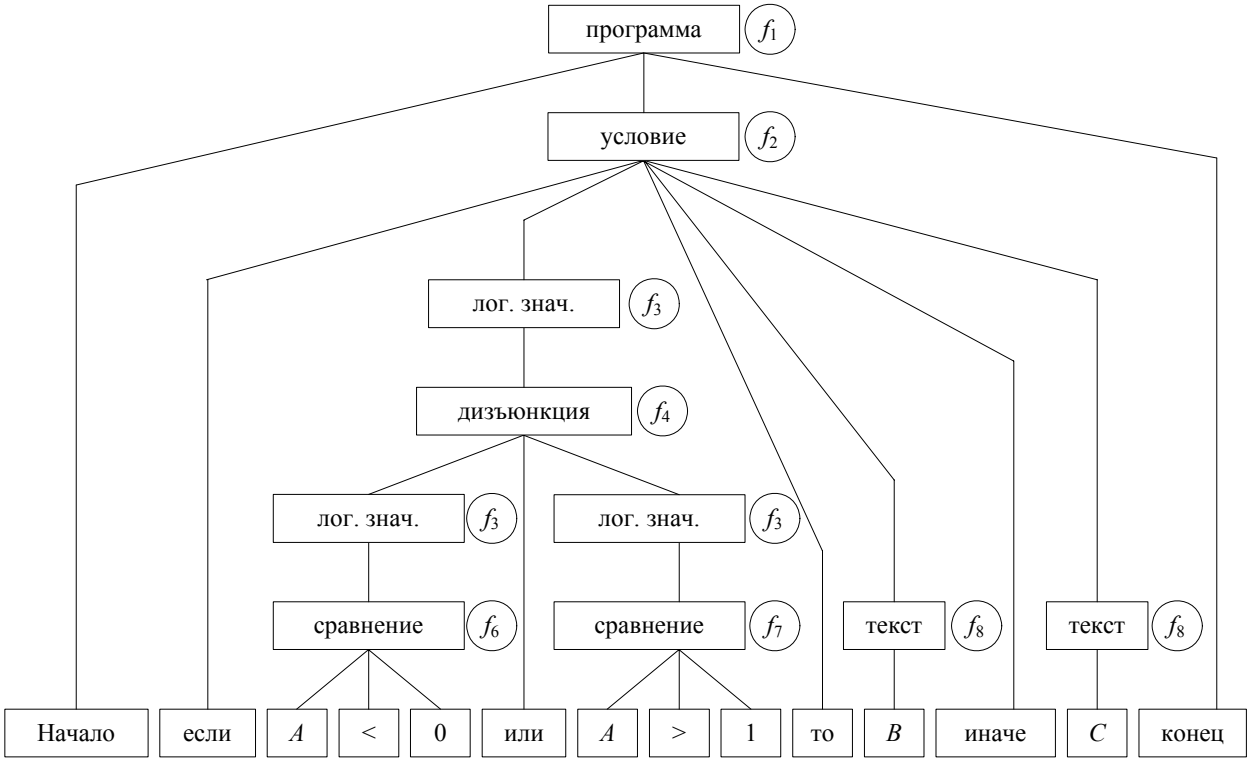
Рассмотрим вопрос о формализации языка с точки зрения формирования понятий на основе анализа отношений между различными объектами.

В программировании существенную роль играет понятие полиморфизма. В данной статье нам хотелось бы выдвинуть следующий тезис: любая предметно-ориентированная теория (например, электротехника, механика и т. п.) является по существу полиморфной программой, которая написана на специализированном естественном языке, и если использовать функциональные грамматики [1; 2], то можно описать практически любую теорию (группу теорий) в программной оболочке, способной генерировать решение любой задачи в рамках данной теории (групп теорий).

Согласно данному подходу, любое предложение естественного языка, а также любая программа на языке программирования может быть представлена либо математически в виде суперпозиции функций (рис. 1), либо графически в виде дерева синтаксического разбора с функциями в узлах (рис. 2).

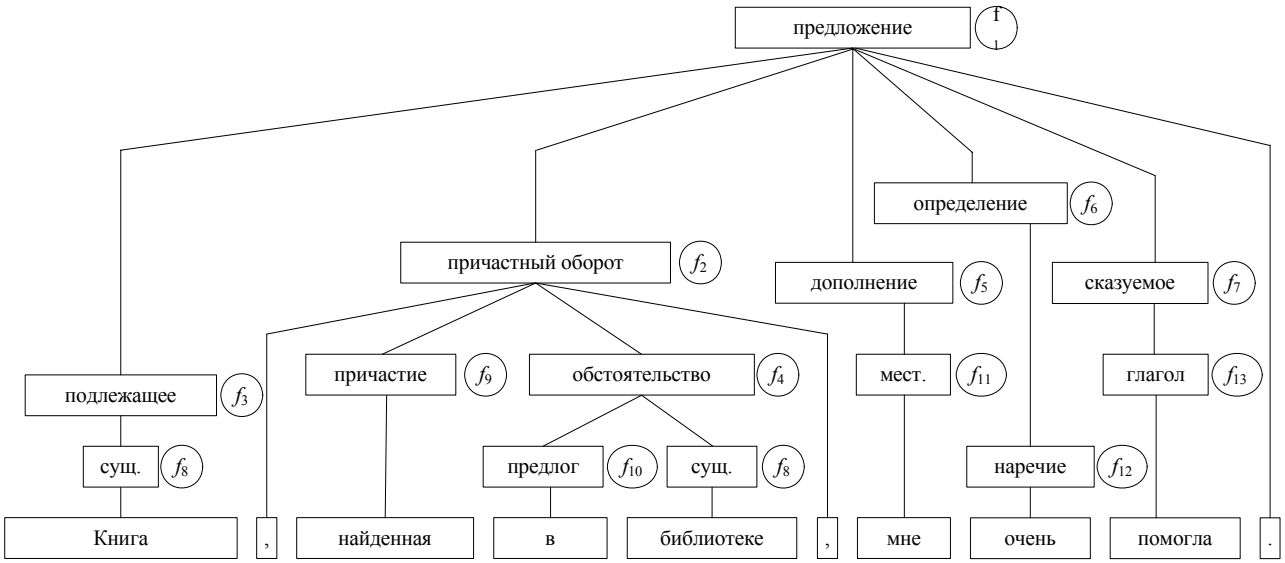
При этом оба представления являются эквивалентными и выражают одни и те же зависимости элементов текста.

Однако суперпозиции функций, представленные на рис. 1 и 2, являются неполными, так как они выражают лишь разбор на уровне синтаксиса. Ниже мы будем рассматривать вычисления, основанные на функциональных грамматиках, и процессы функционально-логических вычислений на иерархическом уровне типов, т. е. вычисления на уровне предметной и общей логики типов для построения суперпозиций функций, или генерации процедур.



$$? = f_1(f_2(f_3(f_4(f_3(f_6(A,0)),f_3(f_7(A,1))),f_8(B),f_8(C)))$$

Рис. 1. Дерево синтаксического анализа и суперпозиция функций для программы



$$? = f_1(f_3(f_8(\text{книга})),f_2(f_9(\text{найденная}),f_4(f_{10}(\text{в}),f_8(\text{библиотеке}))),f_5(f_{11}(\text{мне})),f_6(f_{12}(\text{очень})),f_7(f_{13}(\text{помогла})))$$

Рис. 2. Дерево синтаксического анализа и суперпозиция функций для предложения русского языка

Однако для выполнения вычислений на уровне логики типов необходимо развить саму общую теорию логики типов, или общую теорию понятий, которая существенно отличается от математической теории: общая теория логики типов (понятий) предполагает разработку специального языка (или семейств языков) для представлений знаний об окружающем нас мире, в то время как математическая логика опирается на группу своих языков логики, например на язык исчисления предикатов и теорию рекурсивных функций,

которые до настоящего времени были ориентированы на решение только математических задач. Однако в связи с развитием информатики все более актуальной становится относительно недавно возникшая инженерия знаний.

Так, дерево на рис. 1 можно углубить, расписав в качестве суперпозиций элементы *A*, *B* и *C*. Во втором же случае (см. рис. 2) представлению в виде суперпозиций можно подвергнуть каждое слово, выразив его значение через другие слова. Но в каждом языке в результате самого глубокого разложения можно дойти до тех функций, которые не подлежат дальнейшему функциональному представлению и в этом смысле являются элементарными. Такие функции будем называть *базисными*.

Пример 1. Приведем простейшую функциональную грамматику, описывающую основные законы кинематики. Напомним, что главными объектами (типами) в этом разделе физики являются расстояние, время, скорость и ускорение. Между ними существуют следующие известные соотношения (предикаты):

$$\left\{V = V_0 + a \cdot t; \quad S = V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}; \quad S = \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot a}\right\}. \quad (1)$$

Из предиката (1) порождаются 12 функциональных зависимостей:

$$V = V_0 + a \cdot t,$$
$$V = \sqrt{2 \cdot a \cdot S + V_0^2},$$
$$V_0 = V - a \cdot t,$$
$$V_0 = \frac{S}{t} - \frac{a \cdot t}{2},$$
$$V_0 = \sqrt{V^2 - 2 \cdot a \cdot S},$$
$$S = V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \text{ и т. д.}$$

Дадим обычно принятые в функциональных грамматиках определения объектов (типов, понятий):

– <Speed> → <SpeedInKM/H> | <SpeedInM/S> | <SpeedInKM/S>;
– <Start> → <StartInKM/H> | <StartInM/S> | <StartInKM/S>;
– <Dist> → <DistInKM> | <DistInM> | <DistInSM>;
– <Time> → <TimeInH> | <TimeInMIN> | <TimeInS>;
– <Acc> → <AccInKM/HH> | <AcctInM/SS>;
– <SpeedInKM/H> → (R: real; км/ч);
– <SpeedInM/S> → (R: real; м/с);
– <SpeedInKM/S> → (R: real; км/с);
– <StartInKM/H> → (R: real; км/ч);
– <StartInM/S> → (R: real; м/с);
– <StartInKM/S> → (R: real; км/с);
– <DistInKM> → (R: real; км);
– <DistInM> → (R: real; м);
– <DistInSM> → (R: real; см);
– <TimeInH> → (R: real; ч);
– <TimeInMIN> → (R: real; мин);
– <TimeInS> → (R: real; с);
– <AccInKM/HH> → (R: real; км/ч^2);
– <AccInM/SS> → (R: real; м/с^2).

Условно обозначим приведенные выше продукции через $G_T^{(0)}$.

Для заданной грамматики между нетерминальными понятиями имеются следующие соотношения (<Предикаты>):

– <Speed> = <Start> + <Acc>*<Time>;
– <Dist> = <Start>*<Time> + <Acc>*<Time>*<Time>/2;
– <Dist> = [<Speed>*<Speed> – <Start>*<Start>] / (2*<Acc>).

Программная оболочка по известным алгоритмам должна автоматически порождать из указанного предиката следующие функции (<Автоматически порожденные функции>):

– <Speed> → <Start> + <Acc>*<Time> {f_1};
– <Speed> → КОРЕНЬ [2*<Acc>*<Dict> + <Start>*<Start>] {f_2};
– <Start> → <Speed> – <Acc>*<Time> {f_3};
– <Start> → <Dist>/<Time> – <Acc>*<Time>/2 {f_4};
– <Start> → КОРЕНЬ [<Speed>*<Speed> – 2*<Acc>*<Dict>] {f_5};
– <Dist> → <Start>*<Time> + <Acc>*<Time>*<Time>/2 {f_6};
– <Dist> → [<Speed>*<Speed> – <Start>*<Start>] / [2*<Acc>] {f_7};
– <Time> → [<Speed> – <Start>] / <Acc> {f_8};
– <Time> → [КОРЕНЬ [<Start>*<Start> + 2*<Acc>*<Dist>] – <Start>] / <Acc> {f_9};
– <Acc> → [<Speed> – <Start>] / <Time> {f_{10}};
– <Acc> → 2* [<Dist> – <Start>*<Time>] / [<Time>*<Time>] {f_{11}};
– <Acc> → [<Speed>*<Speed> – <Start>*<Start>] / [2*<Dict>] {f_{12}}.

Также имеются следующие функции преобразования единиц измерения объектов:

– g_1 = (<SpeedInKM/H>) <SpeedInM/S>: (0.278*R.<SpeedInKM/H>; м/с);
– g_2 = (<TimeInH>) <TimeInS>: (3600*R.<TimeInH>; с) и т.д.

Рассмотренный выше процесс образования функциональной грамматики теории G_T можно представить в виде следующей обобщенной схемы:

$G_T^{(0)}$ + <Предикаты> = = > $G_T^{(1)}$ + <Автоматически порожденные функции> = = > G_T.

В заданной функциональной грамматике рассмотрим интерпретацию конкретной задачи. Дано: *A*: <Acc> = (5.0; м/с^2); *S*: <Dist> = (6; км); *V*0: <Start> = (0.0; м/с). Необходимо найти: *T*: <Time> = (?.?; с).

Сформулируем процесс решения задачи программной оболочкой, которая загружена функциональной грамматикой G_T.

Шаг 1. Примем за аксиому величину, которую нужно найти, а за терминальные символы – заданные величины (в смысле грамматики).

Шаг 2. Выберем из грамматики G_T продукции, содержащие аксиому в левой части.

Шаг 3. Может существовать три ситуации: первая – в правых частях полученных продукций отсутствуют нетерминалы и тогда решением задачи будет путь в дереве от аксиомы к заданному данными продукциями узлу; вторая – в правых частях есть нетерминалы, тогда выбираем продукции для самого левого нетерминала; третья – в правых частях присутствует аксиома и такие ветви будем отбрасывать.

Шаг 4. Процесс повторяем до тех пор, пока не будет найден узел, содержащий только терминалы, т. е. решение задачи.

Таким образом, решение рассматриваемой нами задачи имеет вид суперпозиции функций, которая получается при чтении дерева разбора по пути от аксиомы до найденного узла, при этом функции, входящие в суперпозицию, находятся на ветвях дерева разбора, т. е. решение может быть представлено в виде дерева и соответствующей суперпозиции функций (рис. 3).

В примере 1 мы показали, что, используя функциональные грамматики, можно описать практически любую теорию (группу теорий) в программной оболочке, способной генерировать решение любой задачи в рамках данной теории (групп теорий). Процесс решения задачи по своей сути является построением подграмматики функциональной грамматики теории.

Процесс образования функциональной грамматики теории G_T можно представить в виде следующей обобщенной схемы:

$$G_T^{(0)} + \text{<Предикаты>} = = > G_T^{(1)} + \text{<Автоматически порожденные функции>} = = > G_T,$$

где $G_T^{(0)}$ – начальная грамматика, в которой приводятся определения понятий в термах: <Предикаты> описывают соотношения и связи между понятиями теории.

Объединение $G_T^{(0)}$ и <Предикаты> образует грамматику $G_T^{(1)}$, которая является входным интерфейсом пользователя, настраивающего систему на определенную теорию (группу теорий). Сама же система автоматически строит функциональную грамматику теории (группы теорий) внутри себя и готова к автоматическому решению задач.

Пример 2. Покажем, как, используя функциональную грамматику, можно создать модель состояние памяти для следующего программного фрагмента:

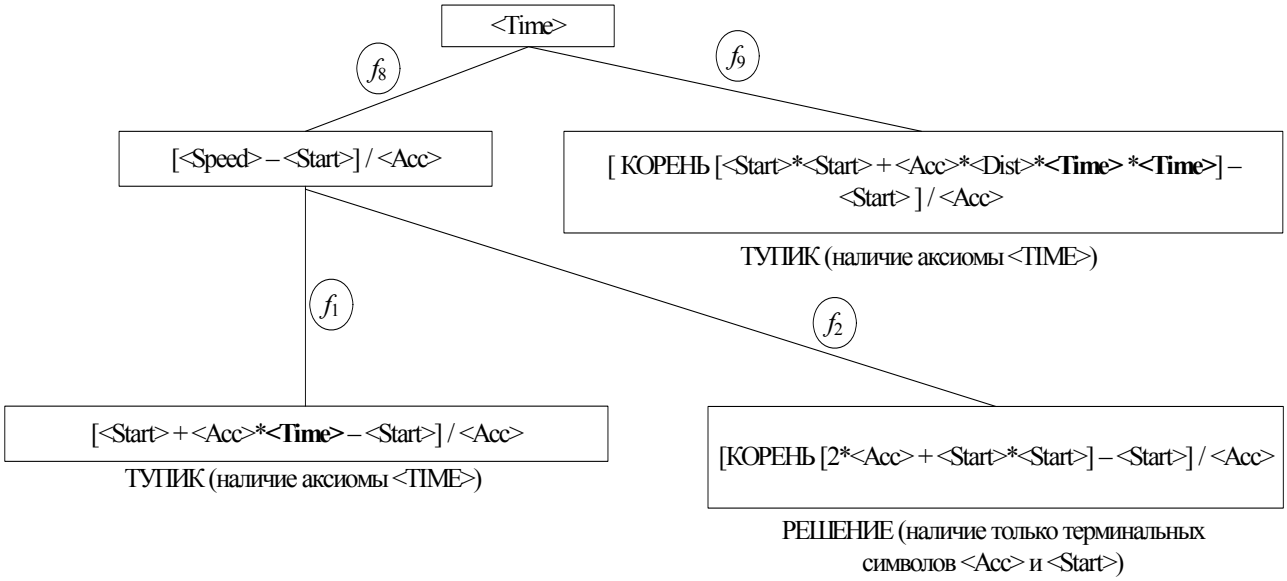
<u>начало</u> <u>цел</u> A, B, C, <u>вещ</u> D, E, … <u>конец</u>.

Цель этого примера состоит в том, чтобы продемонстрировать, как описания переменных X, Y, Z, T, L могут быть формально представлены в виде процесса управления памятью. Для этого введем формальные определения модели памяти, модели типов переменных и синтаксис описания переменных в языке.

Грамматика G_{M-1} – это грамматика описания общей памяти:

$$E \to M\ \omega\ F;\ M \to \text{вид}\ X\#,\ M \to \varepsilon;$$
$$F \to B\ \#\ B;\ B \to \varepsilon.$$

Здесь E – память; M – вспомогательная модель памяти для суперпозиции функций; F – внешняя память; B – файл ввода; ε – пустое множество.



$$\text{<Time>} = f_8(f_2(\text{<Acc>}, \text{<Start>}), \text{<Start>}, \text{<Acc>})$$

Рис. 3. Решение задачи в виде дерева разбора и суперпозиции функций

Начальное состояние памяти:

$$E \equiv \omega\ B\ \#.$$

Грамматика G_{M1} – это грамматика описания видов:

ВИД → цел, ВИД → вещ, ВИД → имя ВИД.

Упорядоченность

$$g_1 = (\text{имя ВИД})\ \text{ВИД}.$$

Грамматика G_0 – это грамматика синтаксиса:

<программа> → начало <описания>, <операторы> конец $\{f_1\}$;

<описания> → <описание> $\{f_2\}$; <описания> → <описания>, <описание> $\{f_3\}$;

<описание> → <описание>, <идент> $\{f_5\}$; <описание> → ВИД, <идент> $\{f_6\}$;

<идент> → X $\{f_{18}\}$; X → <буква>; X → X <буква>.

Функции f_i:

– f_2 = (конт t, знач x) конт: (E, M) f_3(E, ε, M);

– f_3 = (конт t, знач x, y) конт: ((M ВИД X # E, ε, ВИД$^{(1)}$ X # M) ⊥ | (E, ε, ВИД X # M) f_3(имя ВИД X # E, ε, M) | (E, ε, ε) знач (ε));

– f_5 = (знач x, текст y) знач: (ВИД X # M, $X^{(1)}$) ВИД X # M ВИД $X^{(1)}$ #;

– f_6 = (текст x, y) знач: (ВИД, X) имя ВИД X #;

– f_{18} = (конт t, текст x) знач: (M ВИД X # E, X) ВИД.

Согласно введенной для заданного фрагмента программы грамматике можно построить дерево синтаксического разбора (рис. 4).

Результат представленного выше фрагмента программы будет определяться работой функций (или нетерминалов), находящихся в узлах дерева. Рассмотрим принцип работы функций на примере функции

$$f_6 = (\text{текст } x, y)\ \text{знач}: (\text{ВИД}, X)\ \text{имя ВИД}\ X\ \#.$$

Эта функция состоит из двух частей. Часть функции до двоеточия называется *заголовком функции*, после двоеточия – *телом функции*. Заголовок функции f_6 сообщает о том, что она имеет два аргумента: x и y, причем тип этих аргументов – текстовый. Результатом функции является тип знач.

Следует отметить, что любой аргумент, равно как и результат функции, может иметь один из четырех типов: текст, функ, знач, конт. Тип текст говорит о том, что аргумент необходимо рассматривать как последовательность символов (как терминальных, так и нетерминальных), тип функ – как невыполненную суперпозицию функций, тип знач – как значение выполненной суперпозиции, которая, как правило, передается по соответствующей исходящей ветви дерева разбора в качестве аргумента к вышестоящему нетерминалу. Тип конт применяется, когда параметр изменяет значение общей памяти.

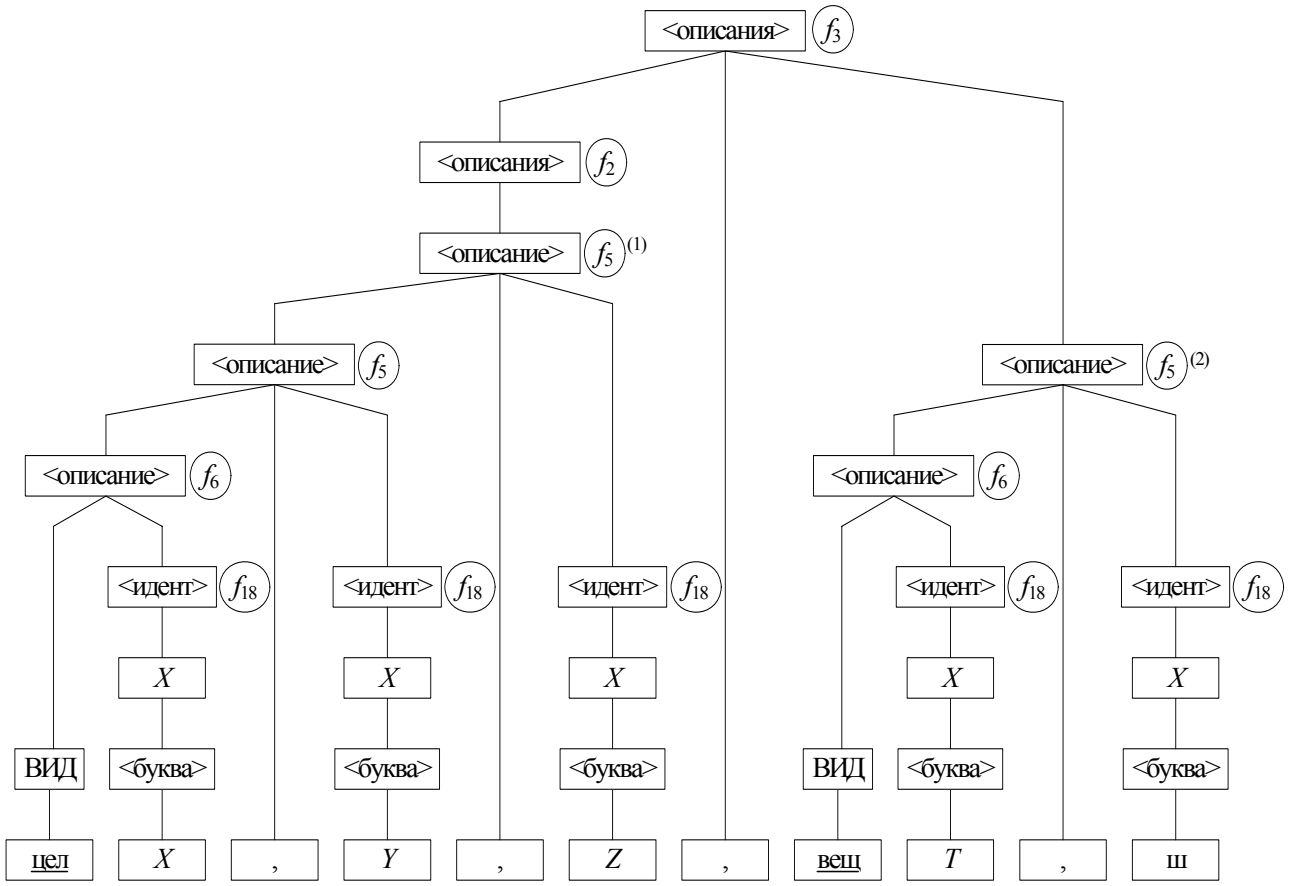


Рис. 4. Дерево синтаксического разбора заданного фрагмента программы

Таким образом, заголовок функции играет большую логическую роль при синтаксическом разборе и управлении вычислением суперпозиции функций. Это связано с тем, что каждый нетерминал в качестве своего значения имеет несколько функций. Выбор конкретной функции нетерминал осуществляет в зависимости от контекста, а инструментом данного выбора являются типы, перечисленные в заголовке. Отсюда следует, что заголовок служит фундаментом для построения контекстно-ориентированного программирования и имеет основное значение при синтаксическом разборе предложений естественного языка.

Рассмотрим тело функции f_6 (см. рис. 4). Внутри скобок находятся два нетерминала: ВИД – от грамматики G_{M1} – и X – от грамматики G_0, которые являются формальными параметрами функции. Фактическими параметрами функции f_6 в начале программного фрагмента (это самая левая часть дерева разбора) являются цел и X, при этом цел сворачивается в ВИД по одному правилу, а A как буква сворачивается сначала в нетерминал X, а потом – в нетерминал <идент> $\{f_{18}\}$. Далее ВИД и <идент> сворачиваются в <описание> $\{f_6\}$. Поскольку в заголовке f_6, как уже было указано, аргументы x и y имеют тип текст, то нетерминалы ВИД и X рассматриваются функцией как текстовые значения цел и A. Функция f_{18}, соответствующая нетерминалу <идент>, игнорируется, так как ее результат имел тип знач, а вовсе не тип текст. Отсюда можно сделать вывод, что заголовок функции управляет процессом вычислений в теле функции, а также процессом вычислений в суперпозиции функций, что еще раз подтверждает значимость заголовка функции.

Результат функции f_6 в терминах формальных параметров имеет вид

имя ВИД X #,

где имя, # – термы; ВИД имеет текстовое значение цел, X – текстовое значение A. Значение функции определяется при помощи операции отождествления. Для вычисления f_6, с одной стороны, имеются формальные параметры ВИД и X, с другой стороны – фактические параметры цел и A (рис. 5). Операция отождествления основывается на сопоставлении формальных и фактических аргументов:

ВИД : = цел и X : = A.

Тогда результат функции f_6 равен

имя цел A #.

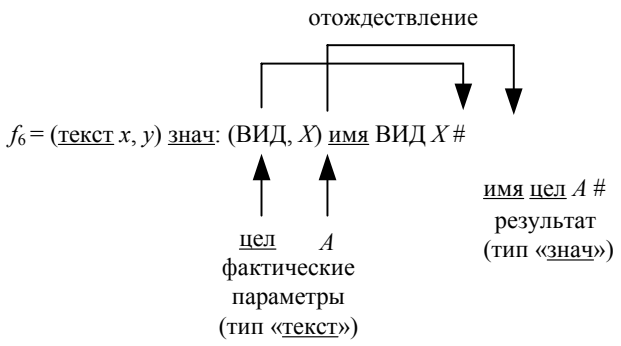


Рис. 5. Вычисление значения функции f_6

Теперь рассмотрим функцию

f_5 = (знач x, текст y) знач: (ВИД X # M, $X^{(1)}$)
ВИД X # M ВИД $X^{(1)}$ #.

Она также имеет два аргумента x и y, но первый аргумент имеет тип знач. Именно поэтому в качестве первого фактического параметра будет выступать результат выполнения функции f_6

имя цел A #.

Отметим, что формальный параметр X имеет в своем составе нетерминал M, который в данном случае равен ε (пустоте). Вторым параметром f_5 является текстовое значение нетерма X, которое равно B. Результатом функции f_5 (рис. 6) будет являться значение

имя ВИД A # имя ВИД B #.

Найденный результат, согласно дереву синтаксического разбора, будет подаваться на вход новой функции $f_5^{(1)}$. В этом случае нетерминал M уже не будет пустым, а равным

имя ВИД B #.

В этом случае результатом функции является значение

имя ВИД A # имя ВИД B # имя ВИД C #.

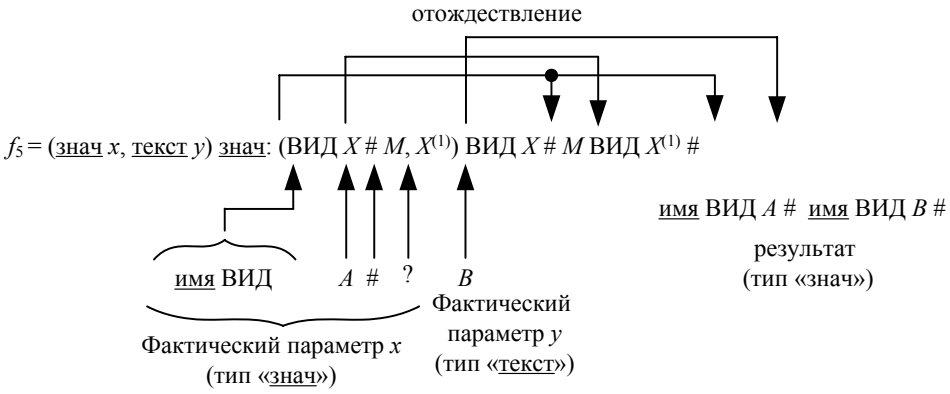


Рис. 6. Вычисление значения функции f_5

Таким образом, фрагмент программы

цел A, B, C

сворачивается в нетерминал <описание>, которому соответствует результат функции $f_5^{(1)}$:

имя ВИД A # имя ВИД B # имя ВИД C #.

Другой фрагмент

вещ D, E

также сворачивается в <описание> с функцией $f_5^{(2)}$, значение которой, по аналогии с $f_5^{(1)}$, равно

имя ВИД D # имя ВИД E #.

Далее символ <описание>, находящийся в левой части дерева, сворачивается в символ <описания> посредством функции

f_2 = (конт t, знач x) конт: (E, M) f_3(E, ε, M).

Стоит обратить внимание на то, что результатом данной функции, имеющей два аргумента, является вызов функции f_3 с тремя параметрами:

f_3 = (конт t, знач x, y) конт: ((M ВИД X # E, ε, ВИД$^{(1)}$ X # M) ⊥ | (E, ε, ВИД X # M) f_3 (имя ВИД X # E, ε, M) | (E, ε, ε) знач (ε)).

При этом два аргумента вызывающей функции находят свое место в качестве первого и третьего параметров вызванной функции, а в качестве второго параметра выступает ε. Таким образом, f_2 является вспомогательной функцией вызова f_3. Обе функции работают с общей памятью E, о чем нам сообщает тип конт.

Функция f_3 является рекурсивной и состоит из трех альтернатив. В случае выполнения первой альтернативы значением функции будет являться ошибка (⊥). Вторая и третья альтернативы образуют рекурсию. Вид рекурсии

(E, ε, ВИД X # M) f_3(имя ВИД X # E, ε, M)

говорит о том, что каждый новый вызов функции будет изымать значение

имя ВИД X

из нетерминала M и добавлять его в память E, проставляя каждый раз впереди дополнительно терм имя. Это будет происходить до тех пор, пока согласно выражению

(E, ε, ε) знач (ε)

значение нетерминала M не будет исчерпано. Таким образом, область значения функции f_2 состоит из декартового произведения множества состояний памяти (конт) и множества значений, которые образуются на исходящей ветви нетерминала f_2 в дереве разбора (знач). Результатом на памяти будет являться состояние памяти

E ≡ имя имя цел C # имя имя цел B # имя имя цел A #,

а результатом на исходящей ветви дерева – пустое значение

ε = знач (ε).

Последнее означает, что нетерминал <описание> не производит передачу результата в суперпозицию функций, вместо этого происходит формальная передача параметра ε.

Полученный результат ε и результат функции $f_5^{(2)}$ подаются (теперь уже непосредственно) на вход функции f_3. Возникающая при этом рекурсия будет аналогична рассмотренной ранее. Ошибка ⊥ описываемая альтернативой

(M ВИД X # E, ε, ВИД$^{(1)}$ X # M),

необходима для того, чтобы исключить добавление уже имеющейся переменной, объявив для нее новый тип.

В результате значение функции $f_5^{(2)}$ пополнит общую память E до состояния

E ≡ имя имя вещ E # имя имя вещ D # имя имя цел C # имя имя цел B # имя имя цел A #.

Таким образом, с помощью составленной функциональной грамматики мы смогли описать процесс выделения в памяти ячеек для переменных разных типов.

Вычисления на уровне типов, выполняемые компилятором, имеют существенное значение для синтеза программ. При этом контексты, в среде которых находятся нетерминалы, могут управлять синтаксическим разбором и процессами вычислений в суперпозиции функций. Данное управление осуществляется через заголовки базисных функций – нетерминалов.

Библиографические ссылки

1. Тузов В. А. Математическая модель языка. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984.

2. Тузов В. А. Языки представления знаний : учеб. пособие. Л.,1990.

V. A. Kravchenko, P. B. Mognonov, D. N. Chimitov

KNOWLEDGE REPRESENTATION IN FUNCTIONAL GRAMMARS

One of the ways of representation of knowledge (theories) by means of functional grammars is considered in the article. The authors make an attempt to give the uniform scheme of the decision of the problem, by its downsinking in functional grammar of the theory.

Keywords: context-oriented programming, object-oriented programming, data structures.

© Кравченко В. А., Могнонов П. Б., Чимитов Д. Н., 2011

УДК 621.01

Р. А. Мирзаев, Н. А. Смирнов, А. Н. Смирнов

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПРИВОДОВ МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Выполнен расчет положения выходного звена в механизме параллельной кинематики. Создана компьютерная модель для анализа движения дельта-механизма. Получены данные о крайних положениях устройства параллельной структуры. Найдена система уравнений, описывающая зависимость координат выходного звена от обобщенных координат.

Ключевые слова: приводы механизмов, устройства параллельной кинематики, кинематические цепи, мехатроника.

В настоящее время в таких перспективных отраслях промышленности, как ракетно-космическая техника и станкостроение, актуальной является задача увеличения точности приводов ориентирующих устройств. Обычно для решения этой задачи используются многозвенные рычажные или гибкие манипуляторы [1; 2].

Серьезным недостатком таких манипуляторов является их небольшая жесткость, снижающая точность отработки заданных перемещений и затрудняющая управление приводами. Для устранения указанных недостатков разработаны механизмы с параллельной структурой (дельта-механизмы). Однако применение таких механизмов невозможно без решения прямой и обратной задачи кинематики манипуляторов, которое усложняется наличием нескольких кинематических цепей, налагающих ограничения на перемещения выходного звена [3].

Для решения прямой и обратной задачи кинематики манипуляторов применяются два подхода: компьютерное моделирование (рис. 1) и аналитический расчет [4].

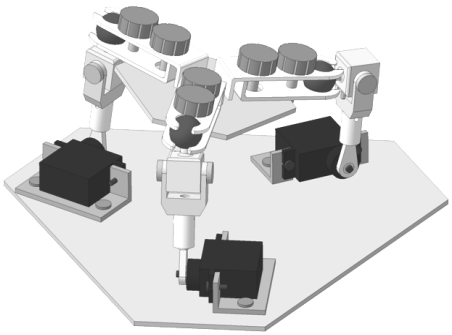


Рис. 1. Компьютерная модель дельта-механизма

Рассмотрим дельта-механизм, содержащий три кинематические цепи, каждая из которых состоит из цилиндрического и сферического шарниров (рис. 2).

Для кинематического анализа дельта-механизмов применяется формула Сомова–Малышева [6]. Общее число H степеней подвижности механизма относительно неподвижного звена (основания) для пространственной кинематической структуры определяется по формуле

$$H = 6\cdot(k-1) - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5,$$

где k – общее число звеньев кинематической цепи; p_i – число пар с i степенями свободы.

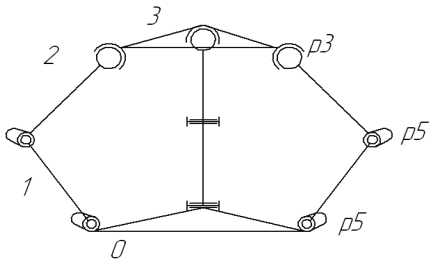


Рис. 2. Схема дельта-механизма [5]:
0, *1*, *2*, *3* – звенья кинематической цепи; *p*3 – сферический шарнир; *p*5 – цилиндрический шарнир

Число степеней свободы для модели дельта-механизма, изображенной на рис. 4, равно трем: две вращательные и одна поступательная.

После определения степеней подвижности дельта-механизма, при помощи компьютерного моделирования была решена задача нахождения крайних положений выходного звена.

При применении устройств параллельной кинематики для ориентации антенн и телескопов космической техники главным параметром является угол наклона выходного звена Ω с координатами X_1, Y_1, Z_1 относительно координат основания X_0, Y_0, Z_0. Графики углового перемещения, полученные при компьютерном моделировании движения дельта-механизма, приведены ниже (рис. 3–5).

Задача определения положения выходного звена манипулятора может быть решена не только при помощи компьютерного моделирования, но и аналитически (рис. 6).

Прямая задача кинематики манипуляторов сначала решается для одной кинематической цепи (l_1, l_2, l_3), при этом другие кинематические цепи, состоящие из звеньев l'_1, l'_2, приняты статичными. Затем аналогичный расчет проводится и для остальных кинематических цепей.

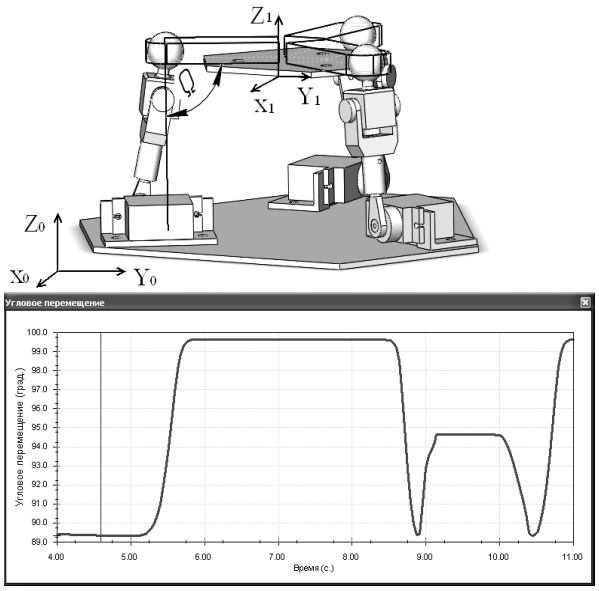


Рис. 3. Крайнее верхнее положение выходного звена дельта-механизма

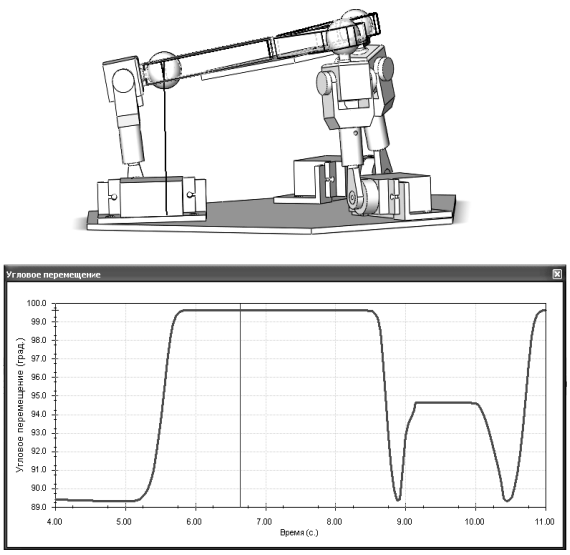


Рис. 4. Промежуточное положение выходного звена

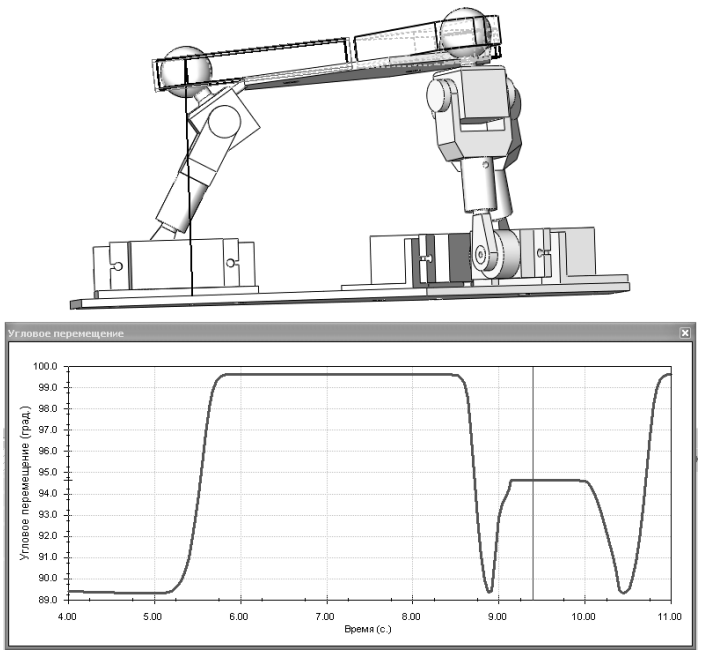


Рис. 5. Крайнее нижнее положение выходного звена

В результате будут получены функции зависимости координаты выходного звена Ω от обобщенных координат кинематической цепи φ_1, φ_2, φ_3, находящейся в плоскости *ZOY*:

$$\begin{cases} y: B - l_1 \cdot \cos(\varphi_1) - l_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \frac{3}{2}\pi + \varphi_1) - l_3 \cdot \sin(\Omega) = 0, \\ z: l_1 \cdot \sin(\varphi_1) + l_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \frac{3}{2}\pi + \varphi_1) - l_3 \cdot \cos(\Omega) = H, \\ 3\pi - \frac{1}{2}\pi - \varphi_1 - \varphi_2 - \varphi_3 = \Omega. \end{cases}$$

Для нахождения координат в крайних положениях механизма целесообразно перестроить механизм так, как показано на рис. 7.

Минимальное значение угла Ω (рис. 7, *а*) рассчитывается с помощью системы

$$\begin{cases} y: B - l_1 \cdot \cos(\varphi_1) - (l_2 + l_3) \cdot \sin(\Omega_{\min}) = 0, \\ z: l_1 \cdot \sin(\varphi_1) - (l_2 + l_3) \cdot \cos(\Omega_{\min}) = H, \\ 2\pi - \frac{1}{2}\pi - \varphi_1 - \varphi_2 = \Omega_{\min}. \end{cases}$$

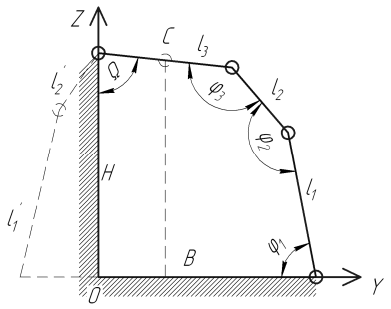
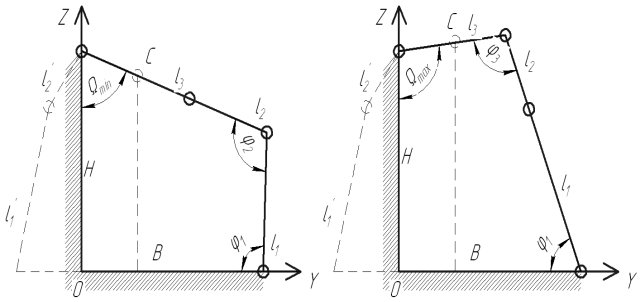


Рис. 6. Расчетная схема дельта-механизма:
l_1, l_2, l_3 – подвижные звенья кинематической цепи; l'_1, l'_2 – зафиксированные звенья; φ_1, φ_2, φ_3 – углы поворота звеньев; Ω – угол поворота выходного звена; C – центр выходного звена



а *б*

Рис. 7. Расчетная схема дельта-механизма в крайних положениях:
а – Ω_{min}; *б* – Ω_{max}

Максимальное значение угла Ω (рис. 7, *б*) определяется решением системы

$$\begin{cases} y: B-\left(l_1+l_2\right)\cdot\cos(\varphi_1)-l_3\cdot\sin(\Omega_{max})=0, \\ z:\left(l_1+l_2\right)\cdot\sin(\varphi_1)-l_3\cdot\cos(\Omega_{max})=H, \\ 2\pi-\dfrac{1}{2}\pi-\varphi_1-\varphi_3=\Omega_{max}. \end{cases}$$

Таким образом, нами выполнен расчет положения выходного звена в механизме параллельной кинематики. Создана компьютерная модель для анализа движения дельта-механизма. Получены данные о крайних положениях устройства параллельной структуры. Найдена система уравнений, описывающая зависимость координат выходного звена от обобщенных координат кинематической цепи.

Библиографические ссылки

1. Крайнев А. Ф. Идеология конструирования. М. : Машиностроение, 2003.

2. Яблонский А. А. Курс теоретической механики : учебник для вузов. 8-е изд. СПб. : Лань, 2001.

3. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. М. : Машиностроение, 2007.

4. Pashkevich A. Stiffness Analysis of Overconstrained Parallel Manipulators [Electronic resource]. URL: http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0904/0904.0052.pdf (date of visit: 02.11.2011).

5. Мирзаев Р. А. Кинематика подвижной платформы на основе дельта-механизма // Решетневские чтения : материалы XV Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. Ч. 1. С. 239–240.

6. Глазунов В. А. Определение положений выходного звена *l*-координатных механизмов // Машиноведение. 1989. № 3. С. 49–53.

R. A. Mirzaev, N. A. Smirnov, A. N. Smirnov

CALCULATION OF MOTION DRIVE OF PARALLEL MECHANISM

The authors present the solution of a problem of calculation of the output link in a mechanism of parallel kinematics and developed a computer model for analysis of motion of delta mechanism. Data on the limit positions of the device of parallel structure are achieved and the system of equations, describing the correlation between the output links of the main coordinates, is found.

Keywords: accessory drive, devices of parallel kinematics, kinematic chains, mechatronics.

© Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., Смирнов А. Н., 2011

УДК 621.391

С. Н. Назаров, Е. С. Аверьянов, А. А. Шагарова, А. С. Назаров, Н. А. Касеева

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВЫСОКОМОБИЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ В СЕТИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА

Проведен анализ способов повышения эффективности функционирования высокомобильных абонентов в сети широкополосного доступа. Основное внимание уделено использованию адаптивной схемы модуляции. Предложен алгоритм оценки скорости передачи данных с использованием механизма подтверждения о приеме.

Ключевые слова: гибридные сети беспроводной передачи информации, мобильная платформа, адаптивная схема модуляции, профиль пакета, помехоустойчивое кодирование, повторная передача управляющих сообщений.

Применение технологии Mobile HotSpot (MHS) [1] в гибридной сети беспроводной передачи информации (ГСБПИ) позволяет представить схему функционирования данной сети (рис. 1). Формирование каналов радиосвязи в ГСБПИ осуществляется за счет разнесенного приема, что обеспечивает повышение их надежности и пропускной способности [2].

В работах [1; 3] рассмотрены основные подходы реализации MHS в ГСБПИ. Локальная сеть ВС, как пример MHS, включает подсеть автоматизированных рабочих мест экипажа воздушного судна и подсеть автоматизированных мест авиапассажиров. Подсеть автоматизированных рабочих мест экипажа воздушного судна предназначена для обеспечения обмена командной информацией управления воздушным движением. Данная информация имеет наивысший приоритет и для нее осуществляется гарантированное резервирование определенного объема ресурса пропускной способности сети. Подсеть автоматизированных мест авиапассажиров обеспечивает предоставление инфокоммуникационных услуг согласно требованиям авиапассажиров и их возможности оплатить данный вид услуг: для обеспечения передачи интерактивного видео- и аудиопотоков может использоваться подсеть широкополосного доступа; для получения аудио- и видеоинформации по запросу: для передачи запроса – подсеть декаметровой радиосвязи, для получения – подсеть на основе геостационарного спутника-ретранслятора; для передачи коротких сообщений с низкой стоимостью – каналы сети радиосвязи декаметрового диапазона; сеть спутников-ретрансляторов на низкой орбите обеспечивает надежную передачу команд управления и данных местоопределения.

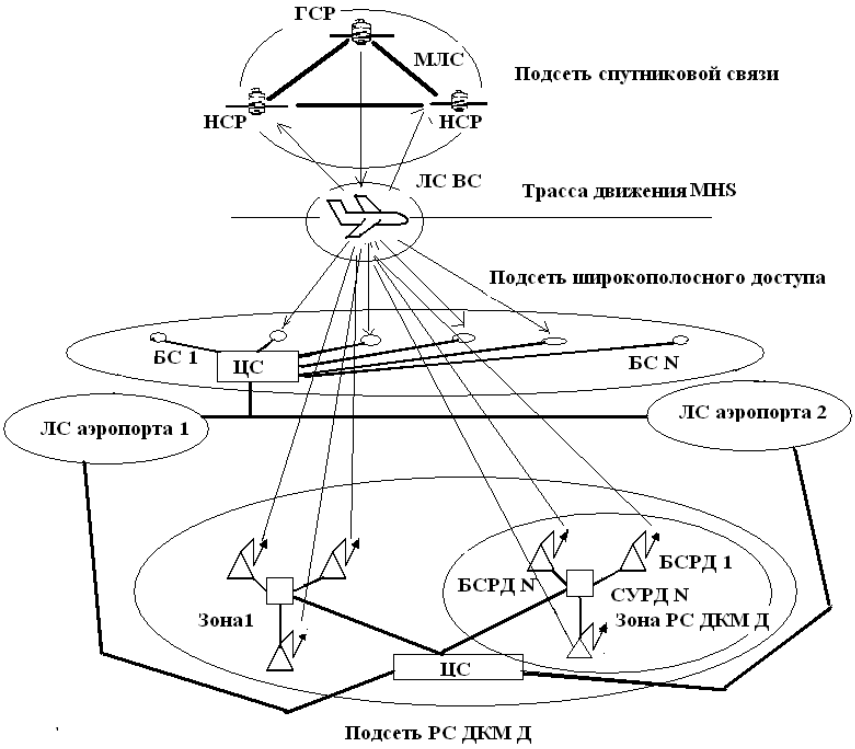


Рис. 1. Схема функционирования ГСБПИ с использованием технологии MHS и разнесенного приема:
БС 1 – базовая станция ; ЛС ВС – локальная сеть воздушного судна; ЦС – центральная станция; СУРД – сервер управления доступом; БСРД – базовая станция радиодоступа; НСР – спутник-ретранслятор на низкой орбите; ГСР – спутник-ретранслятор на геостационарной орбите; МЛС – межспутниковые линии связи

Анализ существующих способов повышения эффективности функционирования высокомобильных абонентов в сети широкополосного доступа. Эффективность функционирования мобильных абонентов сетей широкополосного доступа во многом определяется успешным выполнением процедуры хэндовера. Рассмотрим влияние многократного повторения управляющих сообщений на вероятность успешного хэндовера. Пусть i-е управляющее сообщение может быть повторно передано N_i раз. Тогда вероятность успешного хэндовера [1–4]:

$$P_{\text{у}} = \prod_{i=0}^{M-1} P(A_i) = \\ = \prod_{i=0}^{M-1}\left[\sum_{j=1}^{N_i}(1-\left[1-P_b(\gamma_b)\right]^{L_i})^{j-1}\left[1-P_b(\gamma_b)\right]^{L_i}\right], \quad (1)$$

где M – число управляющих сообщений; N_i – число повторов при передаче i-го сообщения хэндовера; $P_b(\gamma_b)$ – вероятность битовой ошибки при отношении мощности полученного бита к мощности шума в канале на длительности бита, равном γ_b; L_i – длина сообщения в битах.

Анализ зависимостей (рис. 2) показывает, что вероятность успешной передачи управляющих сообщений хэндовера, $P_{\text{у}}$, уменьшается с увеличением вероятности ошибки в символе $P_b(\gamma_b)$. При использовании повторной передачи значение вероятности успешного хэндовера значительно повышается.

Для анализа связи рассмотренных параметров со скоростью передвижения МС предположим, что на передаче сообщения выдаются в канал без задержек. Тогда полное время ожидания, связанное с процедурой хэндовера, определится по формуле

$$T_M = (\sum_{i=1}^{M} N_i)T_1 + MT_2, \quad (2)$$

где T_1 – интервал времени между двумя смежными передачами одного сообщения; T_2 – интервал времени распространения электромагнитной волны между БС и МС. Пусть D – расстояние между двумя соседними БС, которое должна проехать МС при успешном хэндовере, v_m – скорость движения МС. Тогда полное время ожидания, связанное с процедурой хэндовера, должно удовлетворять условию $T_M \le \frac{D}{v_m}$, следовательно, выражение (1) может быть представлено как

$$P_y = \begin{cases} \prod_{i=0}^{M-1}\left[\sum_{j=1}^{N_i}(1-\left[1-P_b(\gamma_b)\right]^{L_i})^{j-1}\left[1-P_b(\gamma_b)\right]^{L_i}\right], \\ \text{если } T_M < \frac{D}{v_m}; \\ 0, \quad \text{в других случаях.} \end{cases} \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что осуществление процедуры хэндовера ограничено временем передвижения МС между БС. Поэтому применение повторных передач управляющих сообщений не обеспечивает повышения эффективности функционирования высокомобильного абонента в сети широкополосного доступа.

Согласно работам [2; 3; 5–8], влияние эффекта Доплера на вероятности битовой ошибки в зависимости от скорости МС показано в модели Кларка–Джейкса. Для анализа этого влияния представим выражение (1) в виде

$$P_y = \prod_{i=0}^{M-1} P(A_i) = \\ = \prod_{i=0}^{M-1}\left[\sum_{j=1}^{N_i}(1-\left[1-Q(\sqrt{2\gamma_b})\right]^{L_i})^{j-1}\left[1-Q(\sqrt{2\gamma_b})\right]^{L_i}\right].$$

Здесь $\overline{\gamma_b} = \dfrac{\dfrac{1}{\log_2 K}}{1-\dfrac{1}{N^2}\left[N+2Y\right]+\dfrac{NT_s}{\log_2 K}(\dfrac{1}{\frac{E_b}{N_0}})}$ – среднее отношение энергии сигнала к мощности шума на длительности бита передаваемой информации, где $Y = \sum_{i=1}^{N-1}(N-i)J_0(2\pi f_m T_s i)$; N – число поднесущих канала OFDM; J_0 – функция Бесселя нулевого порядка; T_s – продолжительность символа используемой схемы модуляции, переданного на поднесущей N_0 – спектральной плотностью гауссова шума; E_b – энергия сигнала на длительности бита передаваемой информации; $f_m = \frac{fv_m}{c}\cos\alpha$ – частота Доплера; c – скорость распространения света; α – угол между вектором скорости движения МС и направлением связи с БС; v_m – скорость движения абонента; $P_b(\gamma_b) = Q(\sqrt{2\gamma_b})$ – вероятность ошибки на бит для квадратурной фазовой модуляции [2; 4–6; 9].

Анализ графика зависимости вероятности успешного хэндовера от скорости перемещения МС (рис. 3) показывает, что увеличение числа поднесущих в OFDM-символе с 100 до 300 позволяет обеспечить высокую вероятность успешного хэндовера при увеличении скорости движения МС от 20 до 25 м/с. Таким образом, увеличение скорости МС в 1,25 раза требует увеличения количества используемых для передачи сигнала поднесущих в OFDM-символе в 3 раза, при достижении скорости движения более 20 м/с вероятность успешного хэндовера снижается до очень малых значений.

Повышение вероятности успешного хэндовера может быть достигнуто за счет применения кодов прямой коррекции ошибок (FEC – Forward Error Correction).

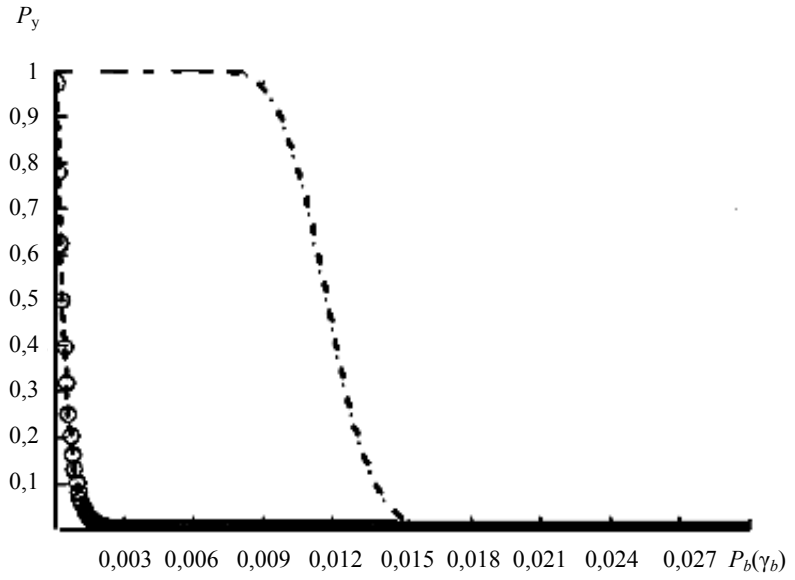


Рис. 2. Зависимости вероятности успешного хэндовера от вероятностей битовых ошибок

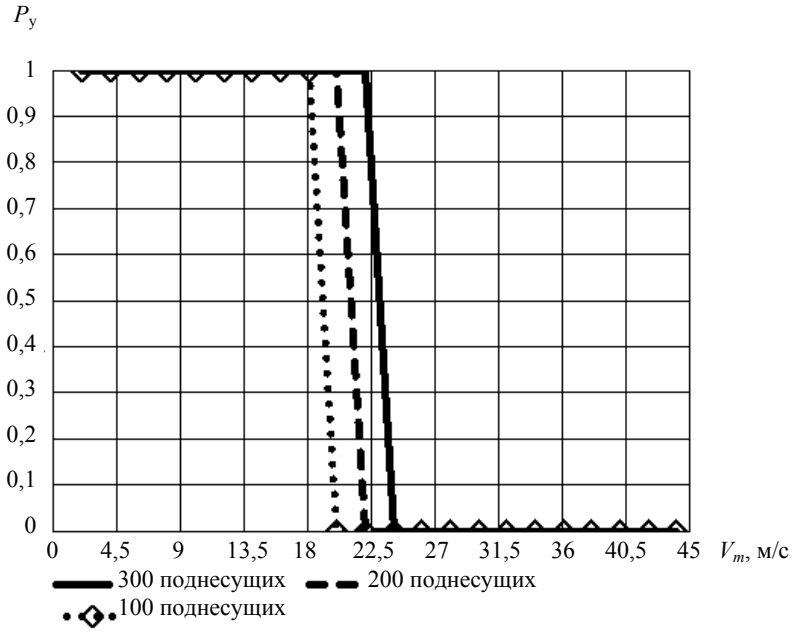


Рис. 3. График значений вероятности успешного хэндовера в зависимости от скорости перемещения МС

При заданной скорости МС можно оценить необходимый размер FEC-кода, который обеспечит требуемое значение вероятности успешного хэндовера:

$$P_у = \prod_{i=0}^{M-1} P(A_i) =$$

$$= \prod_{i=0}^{M-1}\left[\sum_{j=1}^{N_i}(1-p_i)^{j-1}p_i\right] \approx \sum_{i=M}^{S}\binom{i-1}{M-1}\tilde{p}^M(1-\tilde{p})^{i-M}.$$

Обозначения:

$S = \sum_{i=0}^{M-1} N_i \le \dfrac{\dfrac{D}{v_m} - MT_2}{T_1}$ – общее количество повторных передач;

$\tilde{p} \approx \dfrac{2^{k-1}}{k(2^{k-1})^2}\sum_{j=t+1}^{2^k-1} j\binom{2^{k-1}}{j}P_b(\gamma_b)^j(1-P_b(\gamma_b))^{2^{k-1}-j}$ – вероятность ошибочного приема кодовой комбинации, которая определяется типом применяемого кода FEC.

В [4; 9] рассматривается код Рида–Соломона.

Рассмотрим зависимости значений числа избыточных бит $N_и$, необходимые при различных скоростях МС, чтобы достигнуть трех различных вероятностей успешного хэндовера: 0,5, 0,7 и 0,9 (рис. 4). Как видно, чем выше скорость МС, тем больше избыточных бит необходимо использовать в адаптивной схеме FEC – кода для обеспечения требуемой вероятности

осуществления хэндовера. Например, чтобы достигнуть вероятности 0,9 – 4, 15 и 32 бита должны быть добавлены в каждое передаваемое сообщение, если МС осуществляет движение со скоростью V_m = 60, 80 и 90 км/ч соответственно. Таким образом, при увеличении скорости движения МС в 1,5 раза для поддержания требуемой вероятности успешного хэндовера требуется увеличение числа избыточных бит в 8 раз в одном сообщении.

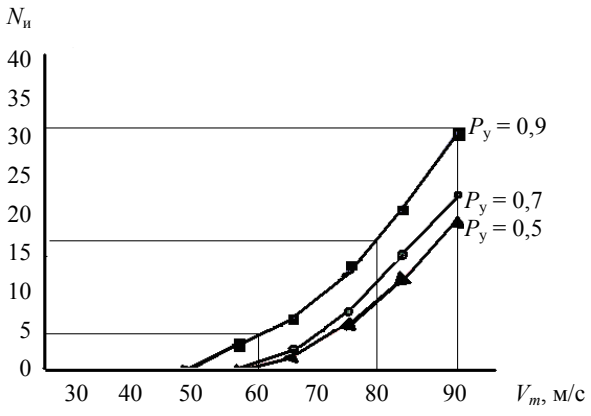


Рис. 4. Зависимость количества избыточных данных от скорости МС

Анализ эффективности применения адаптивных схем модуляции. Для поддержки требуемого размера установленного FEC могут быть использованы схемы модуляции с высокой спектральной эффективностью. Такие схемы модуляции находят широкое применение в современных сетях широкополосного доступа. Применение конкретной схемы модуляции зависит от значения SNR на входе приемника: измеренное значение SNR на приеме по каналу обратной связи передается передатчику, который просматривает пороговые значения для соответствующих схем модуляции и принимает решение, какая схема будет использоваться [1; 3; 4]. Однако такой подход не обеспечивает полную адаптацию системы к состоянию канала. Предлагается применять алгоритм поиска оптимального профиля пакета передачи данных, реализация которого позволит осуществлять передачи данных в канале с максимальной скоростью.

Построение современных сетей широкополосного доступа осуществляется на основе стандартов IEEE 802.11 n, 802.16, LTE.

В работе [3] приводятся выражения для канальной матрицы, коэффициента передачи канала, требования к значениям отношения уровня сигнала и помехе на приеме при использовании различных режимов пространственного кодирования и схем модуляции сигнала. Согласно [1–4; 9], современные технологии широкополосного доступа предусматривают использование QPSK, 16-QAM и 64-QAM; QPSK эквивалентна 4-QAM. Следовательно, для определения вероятности ошибочного приема символа [3; 4; 9] можно использовать выражение для M-QAM схемы модуляции:

$$P_s = 4\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)Q\left(\sqrt{\frac{3\Gamma_s}{M-1}}\right)\left[1+\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)Q\left(\sqrt{\frac{3\Gamma_s}{M-1}}\right)\right],$$

где Γ_s – значение отношения мощности сигнала к мощности на длительности символа принимаемого сообщения; M – число символов, используемых для данной схемы модуляции; $Q(x)=\frac{1}{2\pi}\int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}}\mathrm{d}t$ – функция ошибки. Если размер блока используемого FEC L_b, то $FBER \le 1-(1-P_b)^{L_b}$ [1; 3–5; 9]. Тогда пропускная способность для M-позиционной схемы модуляции:

$$R = (1-\mathrm{FBER})\eta \text{ (bps/Hz)},$$

где $\eta = \mu r \log_2 M$ – спектральная эффективность профиля пакета, использующего M-позиционную схему модуляции; μ – число независимо передаваемых информационных символов на интервале длительности OFDMA символа; r – скорость кодирования.

Таким образом, задача анализа эффективности применения соответствующих схем модуляции в сетях широкополосного доступа заключается в выборе профиля пакета передачи данных, оптимально сочетающего режим передачи антенной системы MIMO, схемы модуляции и кодирования и обеспечивающего при данном состоянии канала обслуживание потоков данных с заданным качеством. При этом считается, что распределение мощности по поднесущим осуществлено ранее, известно значение SNR, требуемое значение FBER для заданного набора профилей пакетов, результаты передачи предыдущего пакета. Следовательно, задача может быть сформулирована следующим образом: для известного значения SNR x определить профиль пакета i из заданного множества U_{STBS} = QPSK1/2, QPSK3/4, 16-QAM1/2, 16-QAM3/4, 64-QAM2/3, 64-QAM3/4} и U_{SM} = {16-QAM1/2, 16-QAM3/4, 64-QAM2/3, 64-QAM3/4}, обеспечивающего для подканала k максимальную пропускную способность. Задача представляется в виде оптимизационной функции:

$$R_{i,k}(x) \to \max$$

и ограничений:

$$q_{i,k}(x) \le Q;\ p_i(\eta_i,\rho) > 0 \forall i,\ i \in \{1, 2, 3, ..., U\},$$

где $R_{i,k}(x)$ – пропускная способность в k-м субканале при реализации i-го профиля пакета при известном значении SNR x; $q_{i,k}(x)$ – значение FBER в k-м субканале при реализации i-го профиля пакета; $p_i(\eta_i,\rho)$ – функция приоритета i-го профиля пакета:

$$p_i(\eta_i,\rho) = \begin{cases} \eta_i I_{(q_{i,k}(x)\le Q)}[I_{\left\{i=\arg\max\limits_j \eta_i I_{(q_{i,k}(x)\le Q)}\right\}} I_{\{\rho=0\}} + \\ +I_{\left\{i\ne\arg\max\limits_j \eta_i I_{(q_{i,k}(x)\le Q)}\right\}} I_{\{\rho>0\}}], \text{ для } \sum\limits_{i=1}^{U} I_{(q_{i,k}(x)\le Q)} \ge 2; \\ \eta_i I_{(q_{i,k}(x)\le Q)}, \text{ для } \sum\limits_{i=1}^{U} I_{(q_{i,k}(x)\le Q)} = 1. \end{cases}$$

Обозначения:

$$\rho = \begin{cases} 1, \text{ если предыдущий пакет успешно передан;} \\ 0, \text{ иначе;} \end{cases}$$

$I_{\{\}}$ – индикаторная функция, которая принимает значение 1 или 0 в зависимости от выполнения условий;

$\eta = \mu r \log_2 M$ – спектральная эффективность профиля пакета.

Схема и описание алгоритма представлены в работе [3].

Моделирование проводилось в среде MATLAB. При моделировании рассматривалась одна ячейка и одна мобильная платформа, которая удалялась от базовой станции, канал между БС и МС функционирует согласно технологии IEEE 802.16e. Проводится оценка двух показателей производительности: FBER и нормализованной пропускной способности. Блок ARQ состоит из одного подканала и двух квантов времени, два несмежных физических кластера образуют подканал.

Исследовались следующие положения: влияние управляющих сообщений, скорости движения МС, скорости движения МС на корректировку SNR, адаптивного ARQ. При моделировании канала связи рассматривается пригородная зона и используется COST 231Hata модель потерь мощности на трассе распространения сигнала.

Потери на замирания в канале согласно рекомендации форума WiMAX 10 дБ для моделирования мобильного WiMAX. Моделирование многолучевого распространения сигнала проводилось с использованием ITU-R модели канала B [3; 4; 5–7; 9]. Ответ канала каждого пути смоделирован как независимая комплексная гауссовская случайная переменная с нулевым средним значением и σ^2 – дисперсией. В результате огибающие ответов канала можно рассмотреть как независимые, имеющие рэлеевское распределение случайные переменные с одинаковой дисперсией. Коэффициент временной корреляции между двумя последовательными отсчетами ответа канала l-го пути распространения сигнала

$$\beta_l = \begin{cases} J_0(2\pi f_{D,l}\Delta t), \text{ если } \Delta t \le T_c; \\ 0, \text{ если } \Delta t > T_c, \end{cases}$$

Обозначения:

$J_0(2\pi f_{D,l}\Delta t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{(2\pi f_{D,l}\Delta t)}{2}\right)^{2k}}{k!\Gamma(k+1)}$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка;

$\Gamma(k+1) = \int_0^{\infty} t^k e^{-t} dt$ – гамма-функция;

$f_{D,l}$ – максимально значение частоты Доплера для частоты f_c и скорости движения v;

Δt – интервал времени между двумя отсчетами;

$T_c = \frac{0,423}{f_D}$ – время когерентности для данной частоты и скорости движения МС.

Определение спектра мощности доплеровской частоты осуществлено согласно выражению [5–8]

$$S(\Delta f) = \begin{cases} \dfrac{1}{\pi f_D \sqrt{1 - \left(\dfrac{\Delta f}{f_D}\right)^2}} & \text{для } |\Delta f| \le f_D; \\ 0 \text{ для } |\Delta f| > f_D, \end{cases}$$

где Δf – разнос данной частоты и центральной частоты субканала.

Моделирование проводилось при движении МС от БС, угол между вектором скорости МС и направление на БС равен 180º. Графики значений пропускной способности субканала при движении МС со скоростями 60, 90, 120 км/ч от БС показаны на рис. 5.

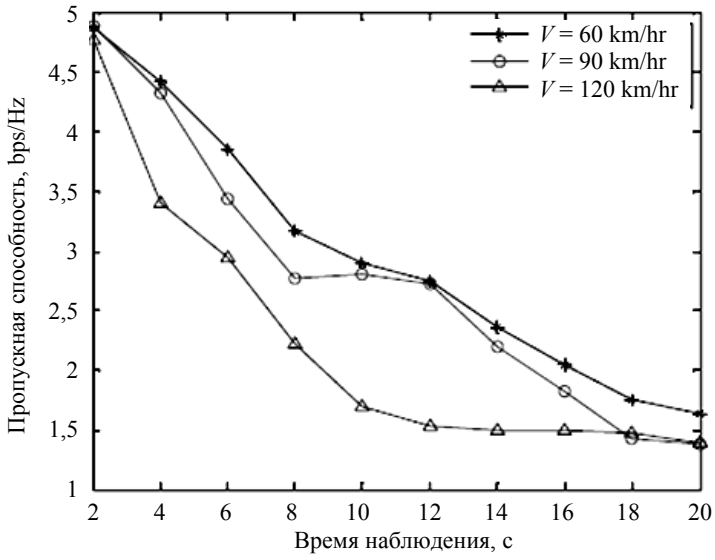


Рис. 5. Пропускная способность системы при удалении МС от БС

Таким образом, применение метода повторных передач управляющих сообщений требует значительных временных и частотных ресурсов: при увеличении скорости передвижения МС в 18 раз с 50 до 900 км/ч потребуется более 5 тыс. несущих частот; использование помехоустойчивого кодирования с возрастанием скорости передвижения в 10 раз потребует шестидесятикратного увеличения количества проверочных бит помехоустойчивого кода в кодовой комбинации передаваемых данных.

Пропускная способность субканала значительно снижается при удалении МС от БС (см. рис. 5). Это объясняется тем, что механизм адаптации к изменению условий передачи сигналов в субканале с удалением переключается на схемы модуляции с низкой спектральной эффективностью.

Следовательно, рассмотренные методы не позволяют повысить эффективность функционирования высокомобильного абонента в сетях широкополосного доступа.

Поэтому возникает необходимость разработать метод, который в сочетании с рассмотренными выше обеспечит обработку потоков данных высокомобильного абонента с заданным качеством. Этот вопрос будет рассмотрен в следующей работе.

Библиографические ссылки

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

2. Кловский Д. Д., Сойфер В. А. Обработка пространственно-временных сигналов (в каналах передачи информации. М. : Связь, 1976.

3. Mahmud H. Link Adaptation for WiMAX Supported Mobile Hotspot. Waterloo, Ontario, 2009.

4. Васильев В. Г. Технология фиксированного широкополосного беспроводного доступа WiMAX стандарта IEEE 802.16–2004 [Электронный ресурс] // Юнидата. URL: www.unidata.com.ua/files/Wi-MAX_Technology. pdf (дата обращения: 12.10.2011).

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

6. Microwave Mobile Communications / ed. W. C. Jakes. N. Y. : John Wiley & Sons Inc., 1975.

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

8. Clarke R. H. A Statistical Theory of Mobile Radio Reception // Bell Systems Technical J. 1968. № 47 (6). P. 957–1000.

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

S. N. Nazarov, E. S. Averianov, A. A. Shagarova, A. S. Nazarov, N. A. Kaseeva

THE ANALYSIS OF WAYS OF UPGRADE OF DATA PROCESSING OF HIGHLY MOBILE SUBSCRIBERS IN A NETWORK OF BROADBAND ACCESS

The analysis of ways of boosting of efficiency of performance of highly mobile subscribers in a network of broadband access is carried out. The fundamental attention is given to the use of the adaptive circuit of modulation. The algorithm of estimation of bit rate with use of the mechanism of acknowledgement of reception is offered.

Keywords: hybrid fibers of a wireless data transfer, mobile platform, adaptive circuit of modulation, packet profile, noise-proof encoding, retransmission of operating messages.

© Назаров С. Н., Аверьянов Е. С., Шагарова А. А., Назаров А. С., Касеева Н. А., 2011

УДК 004.04:004.421

А. И. Ноженков

МЕТОДИКА OLAP-МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ПРОГРАММ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ*

Представлена оригинальная методика формирования территориальных программ бесплатной медицинской помощи. Разработана информационно-аналитическая система для расчета показателей на основе метаописания комплексов OLAP-моделей и алгоритмов управления аналитическими расчетами.

Ключевые слова: OLAP-модель, методика, метаописание, территориальное планирование, управление аналитическим расчетом.

Ежегодное формирование территориальных программ государственных гарантий оказания населению бесплатной медицинской помощи (ТПГГ) – одна из ключевых задач организации медицинских услуг в системе здравоохранения нашей страны. Расчет показателей территориальных программ основывается на оценивании объективной потребности в медицинской помощи в муниципальных образованиях каждого региона и определения нужных для этого ресурсов здравоохранения. Необходимость обрабатывать большие объемы статистических данных о демографическом составе и заболеваемости населения, о деятельности медицинских учреждений, учитывать доступность медицинской помощи, условия проживания, экологическое состояние территорий и множество других данных, привела к тому, что для решения этих задач все более широко применяется технология оперативной аналитической обработки данных OLAP (On-Line Analytical Processing). Однако сложность задачи территориального планирования медицинской помощи порождает необходимость наглядного представления всего объема аналитических расчетов и последовательности их выполнения.

В данной работе описана методика, позволяющая наглядно представлять и реализовывать процесс формирования территориальных программ с помощью управляемого комплекса OLAP-моделей, который представляет собой множество связанных между собой OLAP-моделей, каждая из которых решает свою подзадачу. Отличительной чертой предлагаемой методики является использование интеллектуальных средств для метаописания комплекса OLAP-моделей [1], что дает возможность не только редактировать алгоритм расчета, но и интерактивно управлять процессом формирования показателей. Средства метаописания и интеллектуального управления позволяют автоматизировать как расчетные задачи, так и эвристические этапы формирования ТПГГ, например, выполнять согласование результатов расчета нормативов объема медицинской помощи и нормативов финансирования.

Основные этапы методики формирования ТПГГ на основе OLAP-моделей. OLAP-инструмент позволяет реализовать расчет нормативов как последовательное выполнение OLAP-моделей. OLAP-модель – это совокупность набора данных, организованных в виде многомерного информационного куба, набора аналитических операций с элементами куба и формы представления результатов [2]. OLAP-модели связаны между собой: результаты выполнения одной модели являются входными данными для расчета другой модели. Таким образом реализуется процесс выполнения сложных аналитических расчетов.

Предлагаемая методика формирования территориальных программ государственных гарантий, основанная на применении интеллектуальных средств OLAP-моделирования, состоит из трех основных этапов (рис. 1).

На первом этапе выполняется декомпозиция задачи и определяется множество OLAP-моделей, позволяющих автоматизировать процесс решения каждой подзадачи.

Для этих целей используются алгоритмы декомпозиции задач, предложенные в работах Ю. В. Вайнштейн [3]. Затем выполняется построение каждой OLAP-модели с применением программного обеспечения, разработанного П. П. Ишениным [4].

На втором этапе строится метаописание комплекса моделей (рис. 2). Метаописание позволяет повысить наглядность процесса формирования ТПГГ, автоматизировать построение комплекса взаимосвязанных OLAP-моделей, автоматизировать процессы построения цепочек моделей для выполнения расчетов, обеспечить управление расчетом и многовариантные расчеты ТПГГ. Разработаны средства метаописания комплекса OLAP-моделей с применением гибридной модели знаний и средства реализации логического вывода.

Сначала при помощи специальных программных средств с использованием автоматически генерируемого системного описания строится метаописание каждой модели. Метаописание OLAP-модели содержит наименование модели, назначение модели, наименование витрины данных, поставляющей исходные данные для OLAP-модели, и перечень показателей – результатов расчета модели. Затем полуавтоматически, с применением редактора базы знаний, декларируется перечень отношений между моделями.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., ГК № 02.740.11.0621 от 29 марта 2010 г.

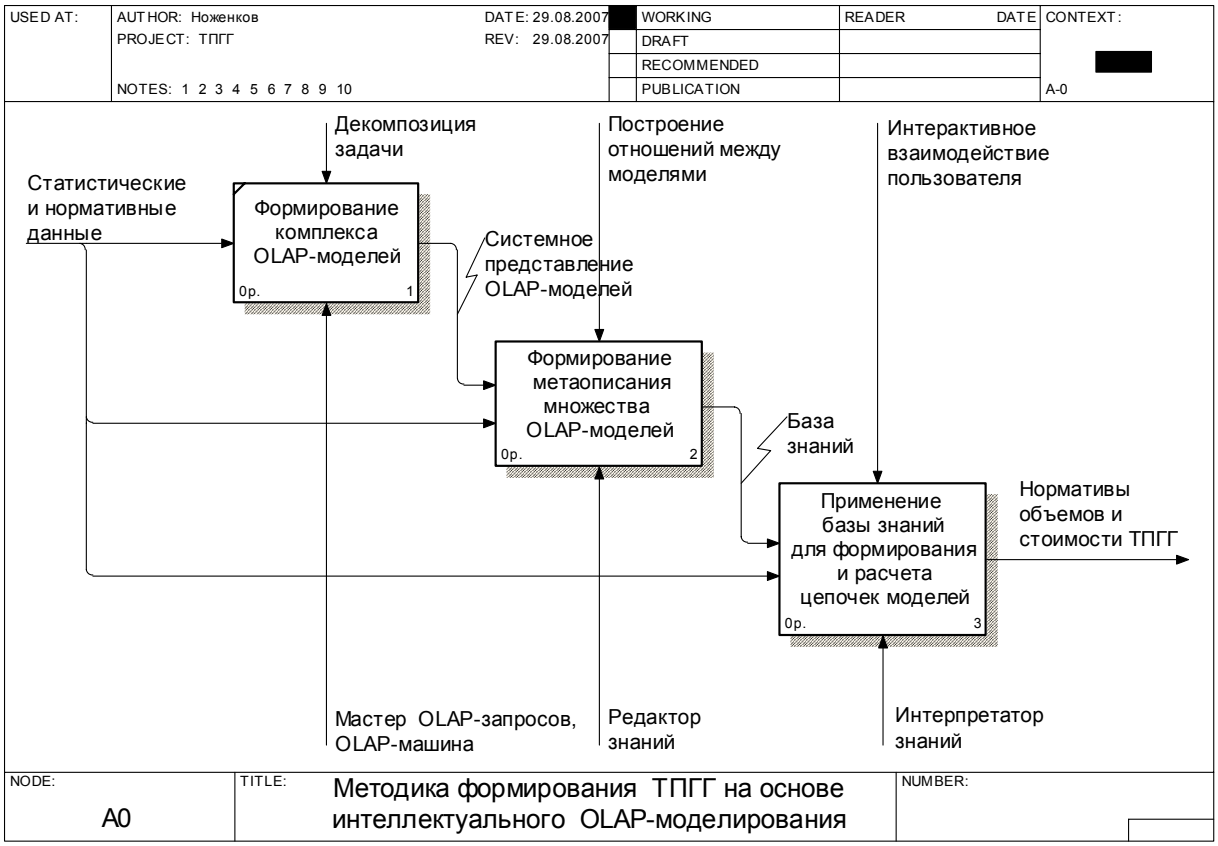


Рис. 1. Основные этапы методики формирования ТПГГ

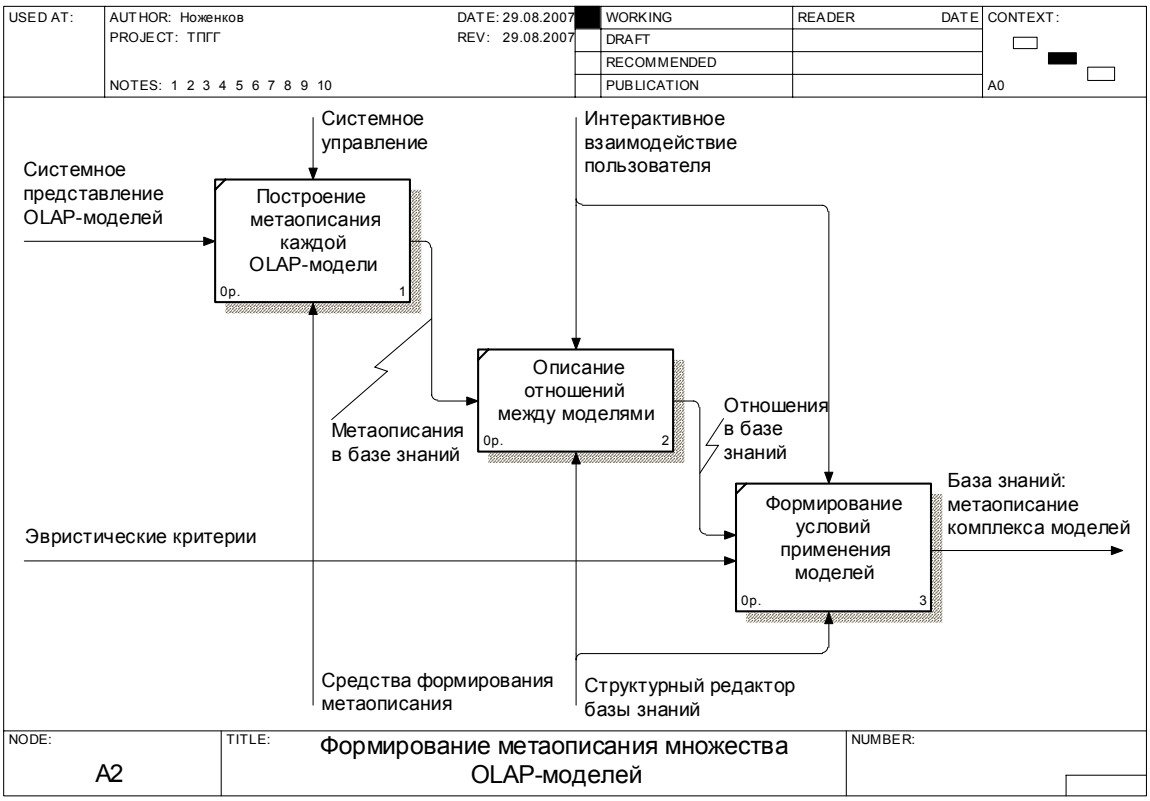


Рис. 2. Построение базы знаний для метаописания комплекса OLAP-моделей

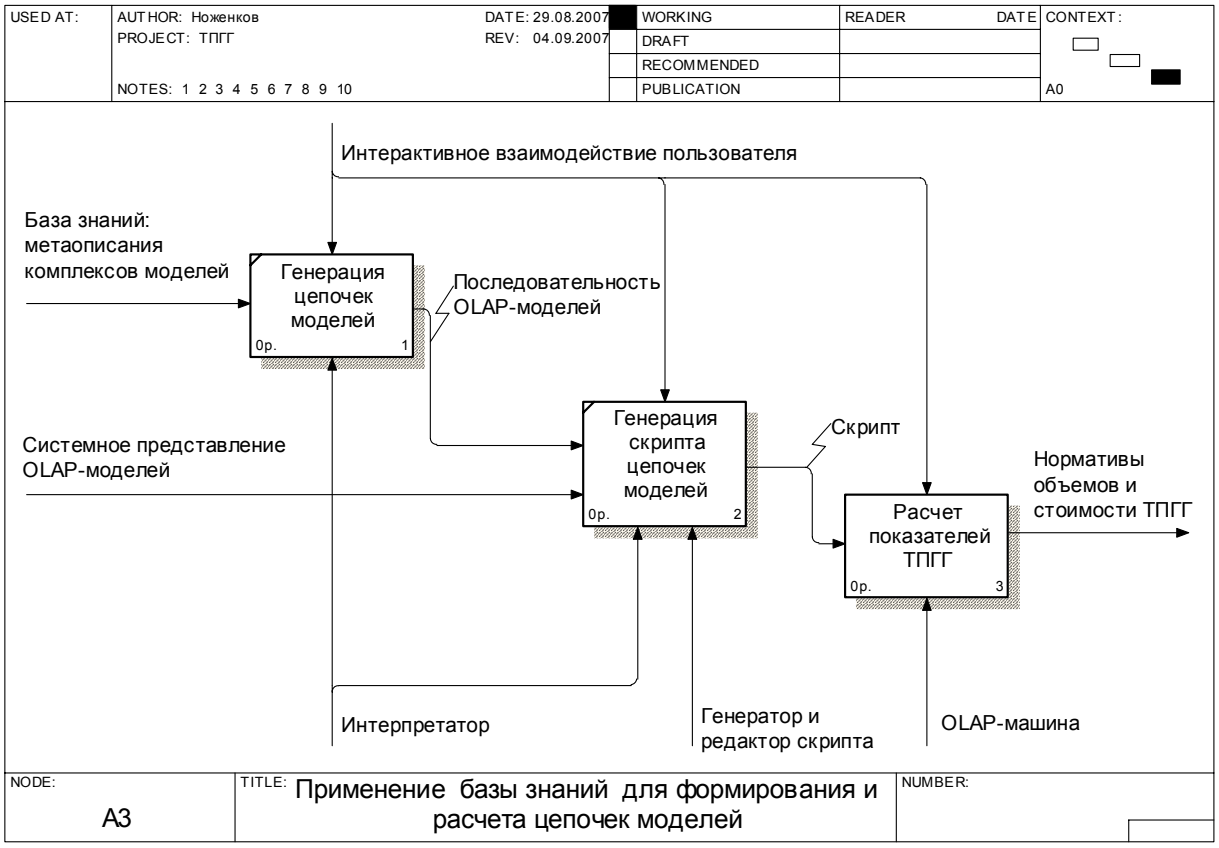


Рис. 3. Применение базы знаний для формирования и расчета ТПГГ

Рассматриваются два типа отношений: информационная зависимость моделей и альтернативность – взаимная независимость моделей. Затем в форме правил описываются эвристические критерии, условия применения или изменения моделей, условия выбора моделей, а также может быть описан в явном виде порядок расчета нескольких OLAP-моделей – так называемая цепочка моделей.

Третий этап методики формирования ТПГГ представляет собой процесс генерации цепочек OLAP-моделей, позволяющих рассчитать показатели объемов медицинской помощи и нормативы требуемого финансирования, а также выполнить согласование этих показателей.

Генерация цепочек OLAP-моделей для расчета ТПГГ выполняется на основе их метаописания как процедура логического вывода на гибридной базе знаний. Процедура вывода представляет собой интерактивный процесс, позволяющий выполнять многовариантный расчет территориальной программы государственных гарантий в целом либо отдельных ее фрагментов. Модель представления знаний и алгоритмы вывода описаны в [5].

Рассмотрим процесс формирования и расчета ТПГГ на основе использования представленного в базе знаний метаописания OLAP-моделей (рис. 3). Управление процессом расчета осуществляется на основе применения правил выбора OLAP-моделей, а также с учетом действий пользователя. Пользователь может интерактивно изменить или заменить любую OLAP-модель, вследствие чего изменяется ее системное представление. Также пользователь может изменить условия применения модели, изменив метаописание в базе знаний. Процедура логического вывода, выполняющая построение ТПГГ, учитывает оба варианта. При этом автоматически исследуются возможные изменения расчета и строятся новые цепочки моделей для расчета показателей. Кроме того, продукционные правила позволяют не только указывать условия применения моделей, но и в явном виде задавать в базе знаний такие важные элементы формирования ТПГГ, как критерии согласованности показателей.

Информационно-аналитическая система «ТПГГ». Информационно-аналитическая система «ТПГГ» предназначена для автоматизация всего процесса формирования территориальной программы государственных гарантий оказания бесплатной медицинской помощи [6; 7].

Функциональные задачи системы следующие:

– *автоматизация сбора статистических данных* о заболеваемости и демографическом составе населения, о деятельности медицинских учреждений по видам медицинской помощи, а также дополнительных данных об условиях проживания населения, доступности медицинской помощи, экологическом состоянии территорий, об условиях труда и др.;

– *поддержка формирования OLAP-моделей* для анализа состояния заболеваемости населения с учетом половозрастного состава, анализа деятельности учреждений здравоохранения, учета условий проживания и экологического состояния территорий; для расчета нормативов объемов требуемой медицинской помощи с учетом результатов анализа фактических показателей, нормативов РФ; для расчета нормативов финансирования с учетом территориальных особенностей и нормативов РФ;

– *автоматизация построения и выполнения цепочек OLAP-моделей* для формирования показателей ТПГГ, представляющих объемы потребностей в медицинской помощи в зависимости от заболеваемости, половозрастного состава населения, проживающего на разных территориях края, от условий проживания и доступности медицинской помощи. Соответственно рассчитываются потребности финансирования территориальных образований и отдельных медицинских учреждений в разных видах медицинской помощи.

Область применения системы – решение задач планирования медицинской помощи на основе технологии OLAP. Круг пользователей – специалисты органов регионального управления здравоохранением и обязательным медицинским страхованием, специалисты медицинских информационно-аналитических центров.

Предложенная методика, разработанное методическое, алгоритмическое и программное обеспечение позволяют осуществлять обоснованное планирование медицинской помощи, основываясь на показателях состояния здоровья населения, условиях проживания и деятельности медицинских учреждений региона.

Автоматизированы все основные этапы формирования территориальных программ. На предварительном этапе средствами системы «ТПГГ» осуществляется сбор необходимых статистических данных о заболеваемости населения, фактических объемах медицинской помощи и финансовых затратах на ее оказание. Затем на основе создания OLAP-моделей выполняется анализ состояния здоровья и деятельности учреждений здравоохранения с учетом условий проживания и экологического состояния территорий. Анализируется структура заболеваемости, а также объемы фактически оказанной медицинской помощи. Затем выполняется метаописание моделей и связей между ними и на основе построенного управляемого комплекса моделей система осуществляет формирование показателей ТПГГ, представляющих объемы потребностей в медицинской помощи в зависимости от заболеваемости, половозрастного состава населения, проживающего в разных территориях региона, от условий проживания и доступности медицинской помощи. Соответственно рассчитываются потребности финансирования территориальных образований и отдельных медицинских учреждений для разных видов медицинской помощи.

Согласование и балансировка показателей объемов и финансирования медицинской помощи выполняется с применением эвристических и эмпирических критериев и различных методов согласования расчетных и требуемых значений показателей. Различные методы балансировки могут применяться с разными приоритетами, что обеспечивает возможность их использования в разных сочетаниях и в разной последовательности.

Соответственно обеспечивается многовариантный расчет территориальных программ (рис. 4–6). Рассмотрим, например, плановые нормативы объемов медицинской помощи, оказываемой круглосуточными стационарами по профилям (см. рис. 4).

Полученная кросс-таблица дает наглядное плоское представление многомерного куба. Путем простейших манипуляций мыши – drag-and-drop – пользователь может выполнять различные операции: менять «точку зрения», вращая куб (меняя положение строк и столбцов в таблице), выбирать срезы, фильтры и способы агрегации.

Исследование структуры госпитализации населения (по профилям отделений) и структуры посещений к врачам (по специальностям) в половозрастных группах позволяет учитывать территориальные особенности потребления медицинской помощи и использовать эти особенности при планировании. Предложенная методика расчета объемных показателей медицинской помощи и финансовых средств позволяет определить дифференцированные показатели для территорий региона.

Разработанные методические и программные средства обеспечивают также формирование плановых показателей объемов и финансирования других видов медицинской помощи.

Изменение регионального норматива числа посещений на 1 000 человек населения по специальностям врачей и числа госпитализаций на 1 000 человек населения по профилям отделений позволяет быстро моделировать объемные показателей медицинской помощи, финансовых средств, а также расчетную модель сети медицинских учреждений на территориальном и региональном уровнях.

Использование в моделях прогнозируемой численности населения позволяет планировать объемы медицинской помощи не только на предстоящий год, но и на среднесрочную (3–5 лет) и долгосрочную (более 5 лет) перспективу.

В общей сложности комплекс для расчета ТПГГ содержит более 40 OLAP-моделей. Для расчета используются нормативные данные и статистические данные за прошлые годы. Результатом является сводный расчет объема и стоимости территориальной программы государственных гарантий оказания населению бесплатной медицинской помощи, обеспечивается достижение баланса между сводным объемом услуг и предусмотренным бюджетом объемом финансирования.

Предложенная методика позволяет осуществлять обоснованное планирование медицинской помощи, основываясь на показателях состояния здоровья населения, условиях проживания и деятельности медицинских учреждений региона.

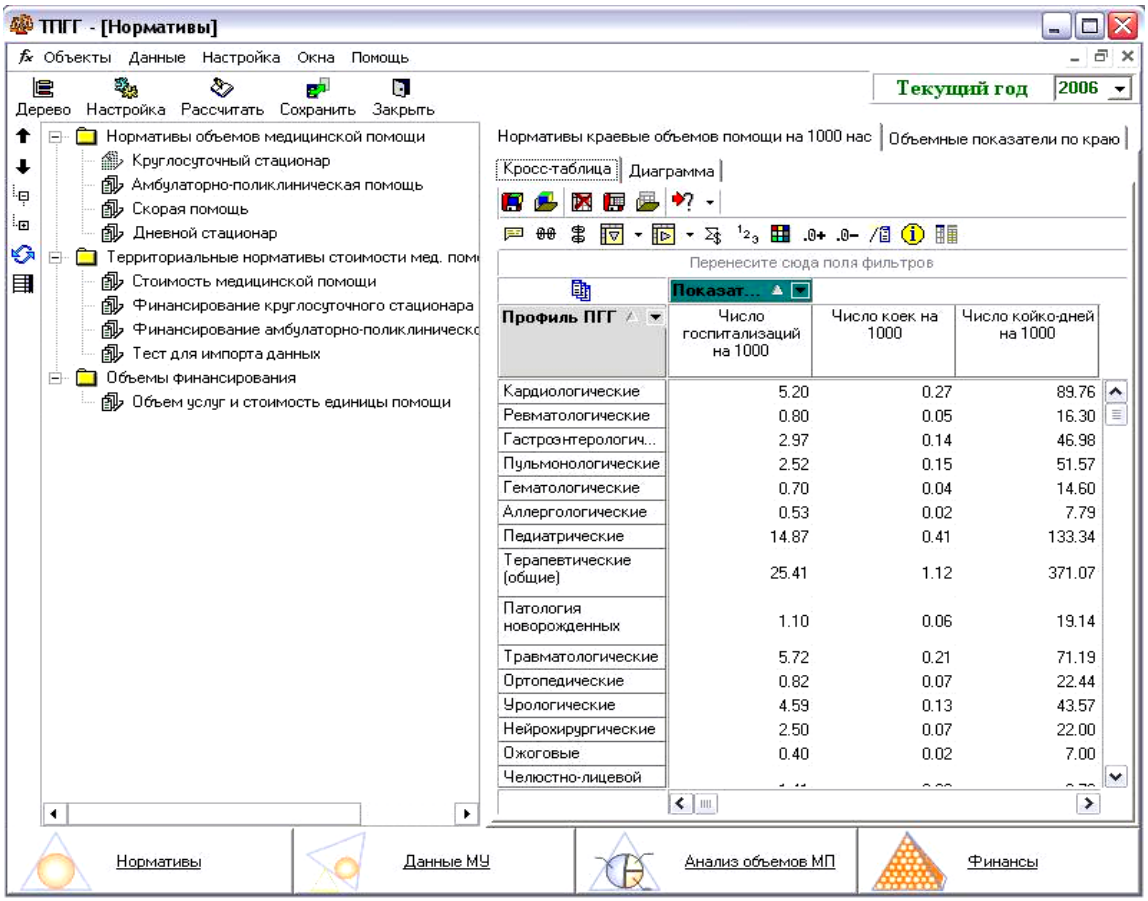


Рис. 4. Плановые нормативы объемов медицинской помощи по круглосуточным стационарам

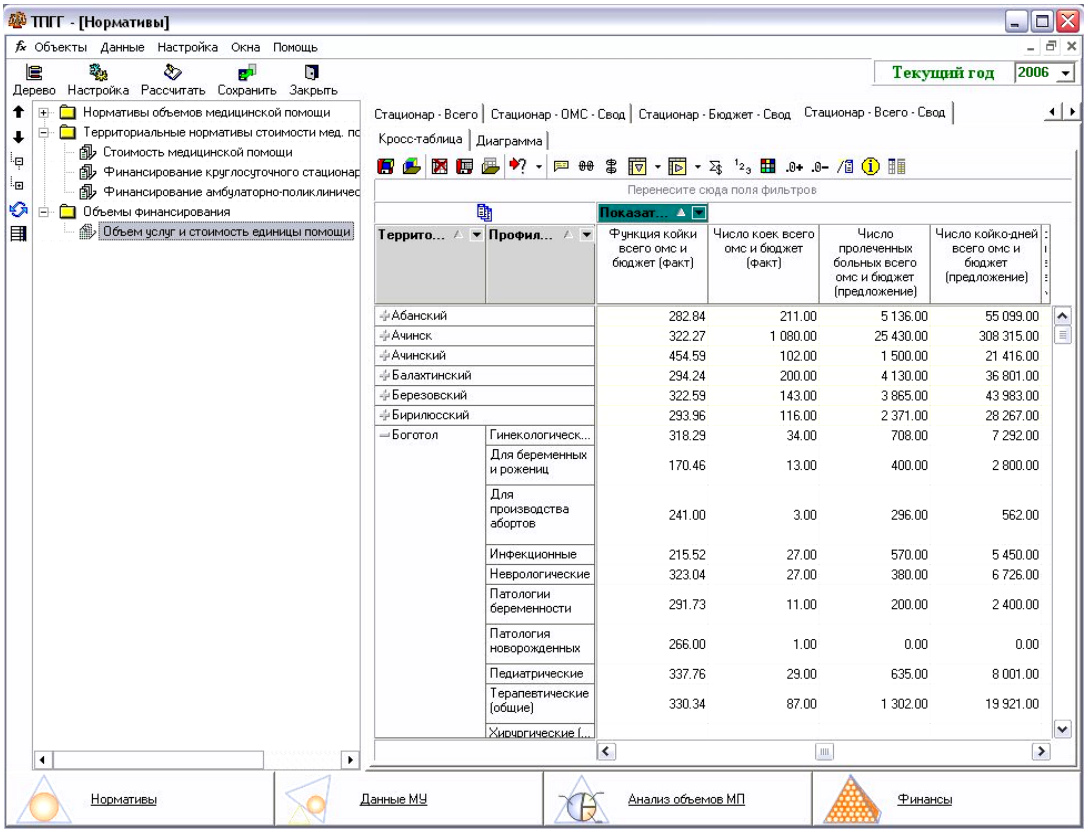


Рис. 5. Сводный расчет объемов медицинской помощи по круглосуточным стационарам

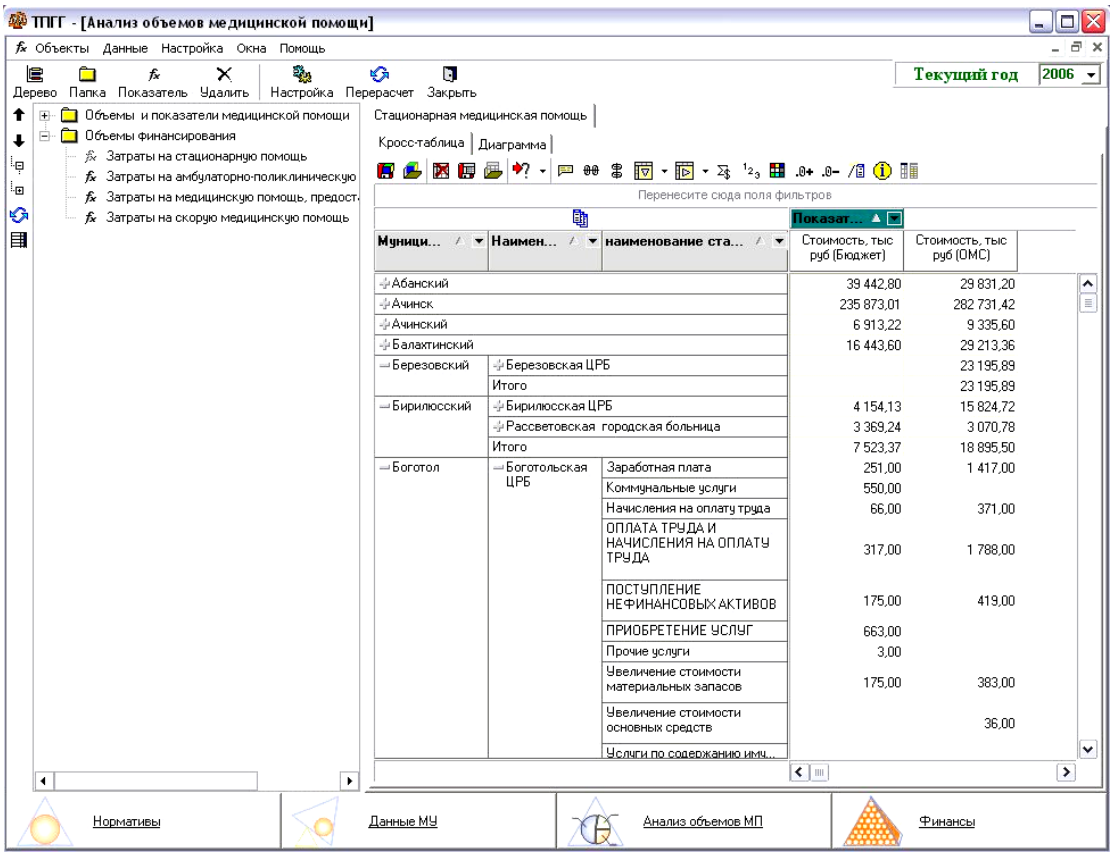


Рис. 6. Результаты сводного расчета показателей стоимости ТПГГ по круглосуточным стационарам

Библиографические ссылки

1. Ноженков А. И. Построение управляемых комплексов OLAP-моделей // Вестник СибГАУ. 2010. № 4(30). С.79–84.
2. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. СПб. : БХВ-Петербург, 2004.
3. Вайнштейн Ю. В. Разработка методов построения комплексов многомерных моделей для задач здравоохранения на базе OLAP-технологии : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2004.
4. Ишенин П. П. Инструментальные средства построения комплексов моделей и аналитических приложений в OLAP-технологии : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2006.
5. Ноженкова Л. Ф., Евсюков А. А., Ноженков А. И. Методы управления и геоинформационного моделирования в технологии OLAP // J. of Siberian Federal Univ. Engineering & Technologies. 2009. № 2. С. 49–58.
6. Ноженков А. И. Формирование территориальных программ медицинской помощи на основе интеллектуальных средств управления OLAP-моделированием : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2007.
7. Ноженков А. И., Коробко А. В., Никитина М. И. Информационно-аналитическая поддержка формирования территориальной программы бесплатной медицинской помощи // Вестник КрасГАУ. 2006. № 13. С. 108–113.

A. I. Nozhenkov

OLAP-MODELING METHOD OF TERRITORIAL PROGRAMS OF MEDICAL CARE

An original method of making territorial programs of free medical care is offered. The information-analytical system, based on the OLAP-models complexes meta-description and analytical management algorithms for indicators calculation, is developed.

Keywords: OLAP-model, method, meta-description, territorial planning, analytical calculation management.

© Ноженков А. И., 2011

УДК 004.896

И. А. Панфилов, Н. А. Смирнов, В. А. Терсков

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО И АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассматриваются вопросы выбора эффективных структур и состава высокопроизводительных аппаратно-программных комплексов обработки информации. Проводится сравнительный анализ централизованного и распределенного подходов реализации таких комплексов. Приводятся результаты патентного поиска, отражающего современные тенденции и мировой уровень в данной предметной области.

Ключевые слова: многопроцессорные системы, распределенные вычисления, многоагентные алгоритмы.

В последние годы четко сформировалась определенная тенденция развития средств вычислительной техники: рост производительности компьютеров происходит в основном не за счет увеличения производительности единственного вычислительного узла (центрального процессора), а за счет распараллеливания вычислительного процесса по нескольким узлам компьютера или даже по компьютерной сети. Такой подход не содержит принципиальных ограничений в повышении скорости и точности работы систем обработки информации. Однако одновременно с ростом производительности вычислительных систем растет и сложность решаемых с их помощью задач. Особенно актуальными сейчас, в свете повсеместного распространения компьютерных сетей и Интернета, являются задачи обработки и анализа информации в распределенных системах. Разнообразие задач обработки и анализа данных не позволяет говорить о какой-либо универсальной аппаратно-программной реализации вычислительного комплекса, которому были бы по силам все задачи. Таким образом, массовое использование технологий анализа данных сдерживается трудностями разработки вычислительных комплексов, предназначенных для решения конкретных задач, что во многом объясняется отсутствием математического аппарата моделирования функционирования специализированных распределенных вычислительных систем.

Можно утверждать, что сегодня в области больших вычислений конкурируют две идеи. Первая идея предполагает использование централизованных вычислительных комплексов (суперкомпьютеров), вторая – использование распределенных вычислительных систем. Особенностью распределенных многопроцессорных вычислительных систем, в отличие от локальных суперкомпьютеров, является возможность неограниченного наращивания производительности за счет масштабирования. Так, проект BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing), являющийся примером реализации распределенных вычислений, обладает средней производительностью 5 000 TeraFLOPS, что сравнимо с производительностью суперкомпьютера, возглавляющего рейтинг TOP500 (8 162 TeraFLOPS).

По доступности для использования суперкомпьютеры также можно сравнивать с распределенными вычислительными системами. Если для суперкомпьютеров естественным ограничением является их стоимость, то применение распределенных вычислений связано лишь с организационными и алгоритмическими сложностями.

Проведен патентный поиск и выполнен аналитический обзор данной предметной области. Исследования позволили сделать следующие выводы:

– при проектировании распределенных систем и алгоритмов используются в основном подходы к повышению производительности вычислений частного запроса (выбор вычислительного элемента (процессора), оптимизация нагрузки на систему, структура контролера и т. д.). При этом не оптимизируется архитектура комплекса в целом, а, как известно, транзакционные издержки и режим работы главного сервера могут замедлять систему в целом даже при сверхпроизводительных локальных серверах;

– разработчики не используют распараллеливание задач на уровне алгоритмов (островные модели, кооперационные и конкурирующие схемы, комитеты решателей), которые существенно повышают эффективность решения задач даже на последовательных компьютерах;

– комплексные решения предлагаются крупными разработчиками (IBM, Deutsche Telecom, Intel и др.) и в общем случае являются системами, ориентированными исключительно на специфику, технологии и технические решения разработчика, что существенно снижает область применения;

– проблема обработки слабо структурированной информации практически не рассматривается;

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России» на 2007–2013 гг. НИР 2011-1.9-519-005-042 и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры России» НИР 2011-1.2.1-113-025, 2011-1.2.2-215-021.

– говоря об интеллектуальных информационных системах, разработчики чаще всего имеют в виду использование разных эвристик в предметной области. При этом методы обработки информации могут быть традиционными, не связанными с интеллектуальными информационными технологиями. Семантика решаемых задач не используется;

– частные работы по применению методов и алгоритмов интеллектуальных информационных технологий не ориентированы на широкое распространение, так как требуют привлечения специалистов и предметных экспертов как на этапе проектирования интеллектуальных технологий, так и при их настройке и использовании.

Таким образом, очевидно, что задача проектирования аппаратно-программных комплексов обработки информации в распределенных системах является актуальной.

В [1] проводится обзор существующих математических моделей многопроцессорных систем, рассматриваются различные подходы к созданию таких моделей. Подробно исследуется модель, где процесс функционирования многопроцессорных систем представляется замкнутой системой массового обслуживания. Предполагается, что состав и характеристики узлов вычислительного комплекса напрямую зависят от специфики решаемой задачи. Так, для реализации наиболее часто применяемых алгоритмов и операций используются специализированные процессоры, с индивидуальными характеристиками. Приводятся алгоритмы расчета производительности, надежности и стоимости проектируемых комплексов. Таким образом, в [1] задача проектирования эффективного вычислительного комплекса формулируется в виде задачи оптимизации:

$$\Pi_в(n, m_1, \ldots, m_i, \ldots, m_N, T_{01}, \ldots, T_{0i}, \ldots, T_{0N}) \to \max,$$
$$Н_в(n, m_1, \ldots, m_i, \ldots, m_N, T_{01}, \ldots, T_{0i}, \ldots, T_{0N}) \to \max,$$
$$С_в(n, m_1, \ldots, m_i, \ldots, m_N, T_{01}, \ldots, T_{0i}, \ldots, T_{0N}) \to \min.$$

В данной модели приняты следующие обозначения: $\Pi_в$ – критерий оценки производительности; $Н_в$ – критерий оценки надежности; $С_в$ – критерий оценки стоимости; n – количество шин; m_i – количество процессоров i-го типа, $1 \le m_i \le 16$, $i = \overline{1, N}$; T_{0i} – среднее время выполнения одной команды в процессоре i-го типа, $T_{0i} > 0$, $i = \overline{1, N}$; определяется исходя из реализуемой в специализированном процессоре функции.

В реальных задачах количество типов процессоров может достигать нескольких десятков, а количество специализированных процессоров каждого типа – многих десятков. Допустим, что имеется десять типов спецпроцессоров и возможно включение в систему до 20 спецпроцессоров каждого типа. Тогда при использовании рассматриваемой в [1] аналитической модели имеется около 20^{10} возможных комбинаций. Если осуществлять поиск оптимальной конфигурации не только по структуре вычислительного комплекса, но и по быстродействию спецпроцессоров, то общее число вариантов системы возрастет примерно до 10^{28}. Кроме того, при выборе метода решения данной задачи необходимо учитывать следующие факторы: переменные задачи выражены в различных шкалах измерения (целочисленные и вещественные переменные), оптимизация производится по нескольким экстремальным критериям одновременно, априорные сведения о свойствах целевых функционалов отсутствуют (оптимизация производится только по измерениям функционалов в фиксированных точках). Метод оптимизации должен учитывать условия, накладываемые на критерии. Таким образом, при выборе эффективной конфигурации вычислительного комплекса возникает необходимость решения задачи многокритериальной условной оптимизации с алгоритмически заданными функциями разношкальных переменных высокой размерности.

В [2] процесс функционирования распределенной вычислительной системы (ГРИД-системы) представлен в виде системы массового обслуживания. Приводятся модели расчета производительности и надежности ГРИД-системы. Процесс проектирования эффективной конфигурации ГРИД-системы также сводится к решению многокритериальной задачи условной оптимизации.

Всеми необходимыми качествами для решения таких задач обладают многоагентные методы стохастической оптимизации, имитирующие естественный отбор и поведение социальных групп в природе. К таким методам относятся генетический алгоритм, алгоритм генетического программирования, алгоритм оптимизации роем частиц (PSO). Однако задача эффективного применения данных методов сравнима по сложности с исходной задачей проектирования вычислительных комплексов, требуется разработка и исследование методов автоматического проектирования и настройки интеллектуальных информационных технологий. Данная проблема может быть решена с использованием самонастраивающихся многоагентных стохастических алгоритмов, включая коэволюционные схемы и вероятностные алгоритмы [3; 4].

Одним из примеров программы-агента для задач однокритериальной условной и безусловной оптимизации с алгоритмически заданными целевыми функциями вещественных, целочисленных, бинарных или смешанных переменных, программы, обладающей значительно меньшим, чем стандартный генетический алгоритм, числом настраиваемых параметров, является так называемый коэволюционный генетический алгоритм [5].

Основная проблема использования эволюционных процедур – высокая сложность настройки параметров алгоритма для решения конкретной задачи оптимизации. Поэтому использование эволюционных процедур, в том числе генетических алгоритмов, требует очень высокой квалификации лица, принимающего решения (ЛПР), как в области данных алгоритмов, так и в проблемной области, Нужны также значительные временные затраты. Одним из перспективных подходов для решения указанной проблемы является коэволюционный алгоритм. Ранее были разработаны коэволюционные алгоритмы, решающие задачи безус-

ловной оптимизации [4]. Однако большинство практических задач относится к классу задач условной оптимизации, т. е. имеются ограничения в виде неравенств или равенств.

Коэволюционный генетический алгоритм – это несколько параллельно действующих стандартных генетических алгоритмов. Отдельный генетический алгоритм называется подпопуляцией. Каждая из подпопуляций оптимизирует заданную функцию и обладает своей стратегией оптимизации. При этом популяции «борются» за ресурс, который в течение работы алгоритма перераспределяется в пользу более эффективной из них. Стандартный коэволюционный алгоритм состоит из следующих этапов [4]:

– выбора индивидуальных алгоритмов;

– задания параметров коэволюционного алгоритма (размера общего ресурса, величины интервала адаптации, размера штрафа «проигравшего» алгоритма, размера «социальной карты») для всех индивидуальных алгоритмов;

– работы выбранных алгоритмов в течение интервала адаптации;

– оценки алгоритмов;

– перераспределения ресурсов;

– миграции лучших индивидов во все подпопуляции.

Перераспределение ресурсов позволяет «доминировать» алгоритму, обладающему наилучшими настройками для оптимизации имеющейся целевой функции. Миграция позволяет одновременно использовать преимущества различных алгоритмов – в первую очередь, локальную и глобальную сходимости. Изменение размеров ресурсов происходит путем сокращения каждой проигравшей популяции на некоторый процент (определенный заранее размер штрафа) и увеличением победившей популяции на число, равное сумме потерь проигравших. Иными словами, после каждого интервала адаптации определяется один победивший алгоритм (подпопуляция). При этом размер каждой подпопуляции не может быть меньше определенного уровня, называемого «социальной картой».

В [5] предлагается новый метод перераспределения ресурсов между алгоритмами, получивший название «турнирный». Суть метода заключается в том, что после каждого интервала адаптации не определяется единственный победивший алгоритм, а происходит перераспределение ресурсов в каждой паре подпопуляций («турнир каждого с каждым»). Данный метод перераспределения ресурсов позволяет провести ранжирование подпопуляций по эффективности оптимизации для текущей целевой функции. Результат такого ранжирования – перераспределение ресурсов между всеми подпопуляциями в соответствии с их эффективностью. Турнирный метод перераспределения ресурсов тестировался в сравнении со стандартным на десяти тестовых функциях (задачах безусловной оптимизации). В качестве показателя эффективности работы алгоритма использовалась надежность – отношение числа запусков, в которых с заданной точностью был найден оптимум, к общему числу запусков. По ранговому критерию Вилкоксона турнирный метод оказался значимо лучше стандартного на четырех тестовых функциях и не хуже на оставшихся шести, что свидетельствует о целесообразности предложенного подхода.

Для адаптации генетического алгоритма к решению задач условной оптимизации необходимо ввести в процедуру специальные методы учета ограничений, используемые в ГА. В данной работе рассматривались следующие: метод «смертельных» штрафов, «лечение» локальным поиском, метод статических штрафов, метод динамических штрафов, метод адаптивных штрафов.

Для апробации предложенного алгоритма была решена задача проектирования распределенной вычислительной сети для решения задачи прогнозирования объемов продаж товаров в аптеках ГПКК «Губернские аптеки» [6]. Данные по задаче следующие:

– средняя вычислительная сложность одной итерации вычислений на одной ветви алгоритма решения задачи – 10 000 оп.;

– средняя вычислительная сложность управления одной ветвью алгоритма решения задачи – 5 000 оп.;

– средний объем данных клиент-серверного обмена – 200 КБ.

Для построения GRID-системы имеется в наличии 153 клиентских узла, параметры которых варьируются в следующих пределах:

– производительность от 4 200 до 17 345 MFLOPS;

– скорость каналов передачи данных от 10 до 27 МБит/с;

– стоимость аренды за 1 ч использования от 1,03 руб. до 3,82 руб.

По надежности все клиентские узлы разбиваются на две группы с интенсивностями отказов 0,000 01 и 0,000 001.

Также задано расписание работы всех клиентских узлов.

Выбор серверного узла проектируемой GRID-системы не производится по причине того, что предприятие-заказчик предоставляет свой серверный узел со следующими параметрами:

– количество процессоров – 2;

– производительность каждого процессора сервера – 11 500 MFLOPS;

– стоимость аренды – 0;

– интенсивность отказов процессоров сервера – 0,000 001.

На проектируемую GRID-систему наложены следующие ограничения:

– количество клиентских узлов GRID-системы должно быть не менее 15 и не более 20;

– коэффициент готовности GRID-системы не менее 99,9 %;

– минимальная производительность GRID-системы не менее 50 GFLOPS.

При решении задачи была получена аппроксимация парето-множества, состоящая из шести точек, а также фронта Парето.

По значениям стоимости и производительности полученных конфигураций GRID-систем был выбран вариант состава проектируемой системы (см. таблицу).

Состав выбранной конфигурации GRID-системы

Производительность, MFLOPS	Скорость канала данных, МБит/с	Стоимость 1 часа аренды, руб.	Время работы		Интенсивность отказов
			Начало работы	Конец работы	
5 295	12	1,24	8:00	18:00	0,000 01
7 600	16	1,64	8:00	19:00	0,000 01
6 420	21	1,49	круглосуточно		0,000 01
7 020	15	1,68	22:00	9:00	0,000 01
8 410	19	1,95	12:00	19:00	0,000 01
10 250	25	2,35	9:00	21:00	0,000 001
9 330	23	1,93	9:00	21:00	0,000 01
8 465	12	1,87	8:00	18:00	0,000 001
6 930	15	1,65	22:00	9:00	0,000 01
11 270	18	2,38	8:00	19:00	0,000 001
9 430	15	2,04	9:00	19:00	0,000 001
7 515	20	1,60	круглосуточно		0,000 01
10 650	24	2,21	12:00	19:00	0,000 001
8 800	19	1,90	8:00	19:00	0,000 01
6 900	11	1,53	9:00	21:00	0,000 01
6 750	21	1,42	круглосуточно		0,000 01
11 000	27	2,36	19:00	8:00	0,000 01
11 000	27	2,36	19:00	8:00	0,000 01
11 000	27	2,36	19:00	8:00	0,000 01
17 345	24	3,64	0:00	6:00	0,000 001

Построенная конфигурация GRID-системы обладает следующими характеристиками:

– средняя производительность – 81,522 GFLOPS;

– стоимость – 466,71 руб. в сутки;

– коэффициент готовности – 99,92 %;

– минимальная производительность – 51 GFLOPS.

Таким образом, полученный в ходе решения задачи вариант распределенной вычислительной системы полностью удовлетворяет исходным ограничениям.

Несмотря на растущую популярность и множество успешных проектов по реализации распределенных вычислений, отсутствует формальное обоснование эффективности применяемых решений. Часто для успешного решения вычислительных задач распределенными или централизованными многопроцессорными системами используются аппаратные средства, заведомо превышающие необходимый уровень. Это многократно повышает стоимость таких проектов и в целом снижает их эффективность. Описываемое в данной статье исследование направлено на повышение обоснованности применения распределенных вычислительных систем. Разработка математического и алгоритмического обеспечения интеллектуального проектирования аппаратно-программных комплексов обработки информации в распределенных высокопроизводительных системах позволит значительно повысить эффективность их работы и расширить сферу их применения.

Библиографические ссылки

1. Панфилов И. А. Модели и алгоритмы выбора эффективной конфигурации многопроцессорных систем обработки информации и управления : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2006.

2. Автоматизация выбора эффективной конфигурации грид-систем / С. Н. Ефимов, Е. С. Семенкин, В. В. Тынченко, В. С. Тынченко // Программные продукты и системы. 2009. № 1. С. 46.

3. Об одной модификации вероятностного генетического алгоритма для решения сложных задач условной оптимизации / А. Ю. Ворожейкин, Т. Н. Гончар, И. А. Панфилов, Е. А. Сопов, С. А. Сопов // Вестник СибГАУ. 2009. № 4. С. 79–84.

4. Жукова М. Н. Коэволюционный алгоритм решения сложных задач оптимизации : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2004.

5. Семенкин Е. С., Семенкин Е. С. Коэволюционный генетический алгоритм решения сложных задач условной оптимизации // Вестник СибГАУ. 2010. № 2 (23). С. 17–21.

6. Ефимов С. Н., Тынченко В. В. Формирование ГРИД-системы эффективной архитектуры для распределенного решения сложных задач // Системы управления и информ. технологии. 2009. № 2(36). С. 4–8.

I. A. Panfilov, N. A. Smirnov, V. A. Terskov

DEVELOPMENT OF MODELS AND ALGORITHMS OF INTELLIGENT DESIGN OF SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEXES OF INFORMATION PROCESSING IN DISTRIBUTED HIGH-PERFORMANCE SYSTEMS

The authors consider approaches to selection of effective structures and composition of high-performance hard- and software systems for information processing. A comparative analysis of centralized and distributed approach to implementation of such systems is performed. The results of patent search, which reflects the contemporary trends and global level in this object domain, are presented.

Keywords: multiprocessor systems, distributed computing, multi-agent algorithms.

© Панфилов И. А., Смирнов Н. А., Терсков В. А., 2011

УДК 519.866

П. Н. Победаш, О. Э. Семенкина, С. И. Сенашов

АГРЕГИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛЬНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ С ЧАСТИЧНО НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ СПРОСОМ И ФОНДООТДАЧЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ АКТИВОВ*

Предложено приложение z-преобразования к оценке эффективности инвестиционных проектов в условиях частичной неопределенности спроса на производимую продукцию и фондоотдачи основных производственных фондов.

Ключевые слова: многошаговая задача линейного программирования, z-преобразование.

Рассмотрим задачу, являющуюся, с одной стороны, обобщением задачи из работы [1] на случай двух критериев, а с другой – ее частным вариантом, когда спрос на производимую продукцию или максимальную фондоотдачу по некоторым видам производственных активов неизвестен, т. е. когда статистические данные об этих важнейших рыночных характеристиках инвестиционного проекта (ИП) отсутствуют, являются недостоверными или неполными (в силу инновационности проекта, коммерческой тайны, намеренной дезинформации и т. п.).

Сформулируем задачу следующим образом. Предприятие имеет капитал K_0. При этом государственный орган (ГО) для реализации ИП выделяет инвестиции не более величины I_0 на приобретение активных основных производственных фондов (ОПФ) n видов. Спрос на производимую продукцию и максимальная фондоотдача заданы лишь на первые n_1 и n_2 видов ОПФ соответственно. Необходимо найти стоимость (количество) всех приобретаемых в моменты $t = 1, \ldots, T$ ОПФ каждого вида, при которых дисконтированные суммы собственных средств предприятия и его налоговых поступлений в ГО являются наибольшими за все время T действия ИП. При этом предполагаются выполненными следующие основные предпосылки:

1) учитываются налоги, составляющие большую часть затрат предприятия: налог на добавленную стоимость (НДС), налог на прибыль (НП), налог на имущество (НИ), единый социальный налог (ЕСН) и отчисления в фонд оплаты труда (ФОТ);

2) предприятие имеет достаточные запасы сырья;

3) срок T действия ИП меньше сроков T_k службы единицы ОПФ каждого типа: $T < T_k$ $(k = 1, \ldots, n)$;

4) на ОПФ каждого вида производится лишь один тип продукции.

С учетом перечисленных предпосылок сформулированная выше задача описывается двухкритериальной многошаговой задачей линейного программирования (МЗЛП), которую обозначим как модель А(n_1, n_2):

$$\begin{gathered} x_k(t+1) = x_k(t) + u_k(t)\ (k = 1, \ldots, n; t = 0, \ldots, T-1), \\ x_{n+1}(t+1) = -\sum_{k=1}^{n} x_k(t)/T_k + x_{n+1}(t) + \\ + \sum_{k=1}^{n} u_k(t)\ (t = 0, \ldots, T-1), \\ x_{n+2}(t+1) = -\alpha_2 x_{n+1}(t) + x_{n+2}(t) - \\ -\sum_{k=1}^{n} u_k(t) + u_{2n+1}(t) + u_{2n+2}(t)\ (t = 0), \end{gathered} \tag{1}$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710).

$$x_{n+2}(t+1)=\alpha_3\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k-\theta x_{n+1}(t)+x_{n+2}(t)-$$
$$-\sum_{k=1}^{n}u_k(t)+\gamma\sum_{k=1}^{n}u_{n+k}(t)\ (t=1,...,T-1);$$
$$x_k(0)=0\ (k=1,...,n+2);$$
$$x_{n+2}(t)\ge 0\ (t=1,...,T-1),$$
$$-\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k-\alpha_2 x_{n+1}(t)+(1-\beta)\sum_{k=1}^{n}u_{n+k}(t)\ge 0\ (t=1,...,T-1);$$
$$u_{n+k}(t)\le q_k(t+1)\ (k=1,...,n_1;\ t=1,...,T-1),$$
$$u_{n+k}(t)\le \delta_k x_k(t)\ (k=1,...,n_2;\ t=1,...,T-1),$$
$$u_{2n+1}(t)\le I_0, u_{2n+2}(t)\le K_0\ (t=0),$$
$$u_k(t)\ge 0\ (k=1,...,n;\ t=0,...,T-1),$$
$$u_{n+k}(t)\ge 0\ (k=1,...,n;\ t=1,...,T-1),$$
$$u_{2n+1}(t)\ge 0, u_{2n+2}(t)\ge 0\ (t=0),$$
$$J=\{J_1,J_2\}\to\max, \qquad (2)$$

где

$$J_1=-u_{2n+1}(0)-u_{2n+2}(0)+$$
$$\sum_{t=1}^{T-1}\frac{\left[\alpha_3\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k-\theta x_{n+1}(t)+\gamma\sum_{k=1}^{n}u_{n+k}(t)\right]}{(1+r)^t}+$$
$$+\frac{\delta x_{n+1}(T)}{(1+r)^{T-1}},$$

$$J_2=\sum_{t=1}^{T-1}\frac{\left[-\alpha_3\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k+\theta x_{n+1}(t)+\rho\sum_{k=1}^{n}u_{n+k}(t)\right]}{(1+r)^t}\ -$$

соответственно дисконтированная сумма собственных средств предприятия и налоговых поступлений в ГО, $u_k(t)\ (t=0,...,T-1)$, $u_{n+k}(t)\quad (k=1,...,n; t=1,...,T-1)$, $u_{2n+1}(0)$ и $u_{2n+2}(0)$ – стоимость приобретаемых ОПФ, выручка от реализации продукции k-го типа, внешние и внутренние инвестиции соответственно; $x_k(t)\ (k=1,...,n)$, $x_{n+1}(t)$, $x_{n+2}(t)\ (t=0,...,T)$ – соответственно накопленная стоимость всех ОПФ k-го типа, остаточная стоимость всех ОПФ, текущие денежные средства предприятия в момент t; V_k, T_k, c_k, $q_k(t+1)\ (k=1,...,n_1;\ t=1,...,T-1)$ и P_k – соответственно производительность, срок службы, стоимость единицы ОПФ, прогнозный спрос на продукцию k-го типа в момент $t+1$ и стоимость единицы продукции k-го типа; I_0, K_0 – суммы внешних и внутренних инвестиций, выделяемых на весь срок действия ИП; $\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\alpha_4$ – ставки НДС, НИ, НП и ЕСН соответственно (НДС включается в цену продукции, поэтому можно считать, что $\alpha_1=0$); β – доля выручки от реализации, выделяемая на ФОТ; $\theta=(1-\alpha_3)\alpha_2$, $\delta_k=P_kV_k/c_k\ (k=1,...,n)$, $\gamma=(1-\alpha_3)(1-\beta)$, $\rho=(1-\beta)\alpha_3+\alpha_4\beta$, r – ставка доходности ИП; $\delta\ (0\le\delta\le 1)$ – доля остаточной стоимости всех ОПФ на момент $t=T$ от ее балансовой стоимости, определяемая в общем случае экспертно.

Отметим, что модель (1), (2) формально можно рассматривать как частный случай модели A, которая приведена в работе [2], при следующих условиях:

$$q_k(t+1)\to+\infty\ (k=n_1+1,...,n;\ t=1,...,T-1),$$
$$\delta_k\to+\infty\ (k=n_2+1,...,n);\ T^1=T^2=1,$$

где T^1 и T^2 – моменты окончания инвестирования и начала производства. С другой стороны, учитывая, что задача (1), (2) обозначена выше как $A(n_1, n_2)$, указанную модель A можно записать как $A(n, n)$, т. е. формально $A(n, n) = A$. В [2] приведены частные версии модели A с неопределенным спросом и максимальной фондоотдачей на все виды производимых продуктов и все типы ОПФ, обозначенные как модели $B1$ и $B2$, получаемые из нее соответственно при выполнении асимптотических соотношений:

$$q_k(t+1)\to+\infty\ (k=1,...,n;\quad t=1,...,T-1);\ T^1=T^2=1$$
$$\text{и}\ \delta_k\to+\infty\ (k=1,...,n);\ T^1=T^2=1.$$

Тогда, аналогично предыдущему, можем записать, что $A(0, n) = B1$, $A(n, 0) = B2$.

В соответствии с работой [3], многокритериальная МЗЛП (ММЗЛП) (1), (2) равносильна однокритериальной задаче с условиями (1) и максимизацией свертки критериев $J(\mu)=\mu_1J_1+\mu_2J_2$, где $\mu\in M=\{(\mu_1;\mu_2)\in E^2\mid\mu_i>0\ (i=1,2);\mu_1+\mu_2=1\}$ – вектор параметров, E^2 – двумерное евклидово пространство. Учитывая, что $\mu_2=1-\mu_1$ и обозначая $\mu=\mu_1$, перейдем от ММЗЛП (1),(2) к эквивалентной ей однокритериальной задаче (1) при условии, что

$$J(\mu)=\mu J_1+(1-\mu)J_2\to\max\ (\mu\in(0;1)), \qquad (3)$$

где J_1, J_2 – критерии из соотношения (2).

Рассмотрим частный вариант задачи двухкритериальной оценки проекта, описанного моделью (1), (2), когда $\delta = 0$ (т. е. продажа ОПФ предприятием не предполагается). Для применения z-преобразования к анализу модели (1), (3) доопределим управления, $u_k(t)\ (k=2n+1,2n+2; t=1,...,T-1)$ до вектора постоянной размерности $2n + 2$, полагая отсутствующие управляющие переменные равными нулю, т. е. дополняя указанную задачу условиями

$$u_{n+k}(t)\le 0, u_{n+k}(t)\ge 0\ (k=1,...,n; t=0);$$
$$u_{2n+1}(t)\le 0,\ u_{2n+1}(t)\ge 0;$$
$$u_{2n+2}(t)\le 0,\ u_{2n+2}(t)\ge 0\ (t=1,...,T-1).$$

Тогда МЗЛП (1), (3) запишем единообразно, перейдя к задаче:

$$x_k(t+1)=x_k(t)+u_k(t)\ (k=1,...,n; t=0,...,T-1);$$
$$x_{n+1}(t+1)=-\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k+x_{n+1}(t)+\sum_{k=1}^{n}u_k(t)\ (t=0,...,T-1),$$

$$x_{n+2}(t+1)=\alpha_3\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k-\theta x_{n+1}(t)+$$
$$+x_{n+2}(t)-\sum_{k=1}^{n}u_k(t)+\gamma\sum_{k=1}^{n}u_{n+k}(t)+$$
$$+u_{2n+1}(t)+u_{2n+2}(t)\ (t=0,...,T-1);$$
$$x_k(0)=0\ (k=1,...,n+2);$$
$$x_{n+2}(t)\ge 0\ (t=0,...,T-1),$$
$$-\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k-\alpha_2 x_{n+1}(t)+(1-\beta)\times$$
$$\times\sum_{k=1}^{n}u_{n+k}(t)\ge 0\ (t=0,...,T-1);$$
$$u_{n+k}(t)\le q_k(t+1)\ (k=1,...,n_1;\ t=0,...,T-1),$$
$$u_{n+k}(t)\le \delta_k x_k(t)\ (k=1,...,n_2;\ t=0,...,T-1),$$
$$u_{2n+1}(t)\le I_0, u_{2n+2}(t)\le K_0\ (t=0,...,T-1),$$
$$u_k(t)\ge 0\ (k=1,...,n;\ t=0,...,T-1),$$
$$u_{n+k}(t)\ge 0\ (k=1,...,n;\ t=0,...,T-1),$$
$$u_{2n+1}(t)\ge 0, u_{2n+2}(t)\ge 0\ (t=0,...,T-1),$$
$$\overline{J}(\mu)=\mu\overline{J}_1+(1-\mu)\overline{J}_2\to\max\ (\mu\in(0;1)), \qquad (4)$$

где

$$\overline{J}_1=\sum_{t=0}^{T-1}\frac{\left[\begin{array}{c}\alpha_3\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k-\theta x_{n+1}(t)+\\ +\gamma\sum_{k=1}^{n}u_{n+k}(t)-u_{2n+1}(t)-u_{2n+2}(t)\end{array}\right]}{(1+r)^t},$$

$$\overline{J}_2=\sum_{t=0}^{T-1}\frac{\left[-\alpha_3\sum_{k=1}^{n}x_k(t)/T_k+\theta x_{n+1}(t)+\rho\sum_{k=1}^{n}u_{n+k}(t)\right]}{(1+r)^t}.$$

По построению для целевых критериев $J(\mu)$ и $\overline{J}(\mu)$ соответственно задач (1), (3) и (4) имеет место неравенство $J(\mu)\le\overline{J}(\mu)$. В частности, для оптимальных значений указанных сверток критериев справедливо соотношение

$$J^*(\mu)\le\overline{J}^*(\mu)\ (\mu\in(0;1)). \qquad (5)$$

Полагая $z = 1 + r > 1$, перейдем в задаче (4) к пределу при $T\to\infty$. Тогда, принимая во внимание предпосылку 3, в силу которой $T\to+\infty\Rightarrow T_k\to+\infty$, и применяя к отмеченной МЗЛП z-преобразование, с учетом свойства $Z(x(t+1))=z\left[X(z)-x(0)\right]$ получим статическую задачу линейного программирования (ЗЛП):

$$zX_k(z)=X_k(z)+U_k(z)\ (k=1,...,n),$$
$$zX_{n+1}(z)=X_{n+1}(z)+\sum_{k=1}^{n}U_k(z),$$
$$zX_{n+2}(z)=-\theta X_{n+1}(z)+X_{n+2}(z)-\sum_{k=1}^{n}U_k(z)+$$
$$+\gamma\sum_{k=1}^{n}U_{n+k}(z)+U_{2n+1}(z)+U_{2n+2}(z);$$
$$zX_{n+2}(z)\ge 0,\ (1-\beta)\sum_{k=1}^{n}\delta_k X_k(z)-\alpha_2 X_{n+1}(z)\ge 0, \qquad (6)$$
$$U_{n+k}(z)\le Q_k(z)\ (k=1,...,n_1),$$
$$U_{n+k}(z)\le \delta_k X_k(z)\ (k=1,...,n_2),$$
$$U_{2n+1}(z)\le I_0, U_{2n+2}(z)\le K_0;$$
$$U_k(z)\ge 0\ (k=1,...,2n+2);$$
$$\overline{J}(\mu,z)=\mu\overline{J}_1(z)+(1-\mu)\overline{J}_2(z)\to\max\ (\mu\in(0;1); z>1),$$

где

$$\overline{J}_1(z)=-\theta X_{n+1}(z)+\gamma\sum_{k=1}^{n}U_{n+k}(z)-U_{2n+1}(z)-U_{2n+2}(z),$$
$$\overline{J}_2(z)=\theta X_{n+1}(z)+\rho\sum_{k=1}^{n}U_{n+k}(z),$$
$$U_j(z)=\sum_{t=0}^{\infty}u_j(t)z^{-t}\ (j=1,...,2n+2)$$

и $X_k(z)=\sum_{t=0}^{\infty}x_k(t)z^{-t}\ (k=1,...,n+2)$ – z-изображения управляющих и фазовых переменных задачи (4), $Q_k(z)=\sum_{t=1}^{\infty}q_k(t+1)z^{-t}\ (k=1,...,n_1)$ $\overline{J}(\mu,z)=\lim_{T\to\infty}\overline{J}(\mu)$, причем при $T\to+\infty$ по построению $\overline{J}^*(\mu)\le\overline{J}^*(\mu,z)\ (\mu\in(0;1))$, откуда в силу (5) получим

$$J^*(\mu)\le\overline{J}^*(\mu,z)\ (\mu\in(0;1); z>1). \qquad (7)$$

Отметим, что однокритериальная задача (6) эквивалентна двухкритериальной ЗЛП с теми же ограничениями и условиями $\overline{J}(\mu)=\{\overline{J}_1,\overline{J}_2\}\to\max$, которую назовем агрегированной моделью реальных инвестиций с частично неопределенными спросом и фондоотдачей ОПФ (моделью $ZA(n_1,n_2)$), соответствующей ММЗЛП $A(n_1, n_2)$.

Для задачи (1), (2) имеет место следующая лемма.

Лемма. Для оптимальных значений переменных $u^*_{n+k}(t)$ и $x^*_k(t)$ МЗЛП (1), (2) справедливы равенства

$$u^*_{n+k}(t)=\left[\begin{array}{l}q_k(t+1)\ (k=n_2+1,...,n_1;\ t=1,...,T-1),\\ n_1>n_2;\\ \delta_k x^*_k(t)\ (k=n_1+1,...,n_2;\ t=1,...,T-1),\\ n_2>n_1.\end{array}\right. \qquad (8)$$

Выражая изображения $X_k(z)\ (k=1,...,2n+2)$ из операторных уравнений ЗЛП (6) и подставляя соответствующие формулы в остальные ограничения, перейдем к эквивалентной ей более простой задаче:

$$-(\theta+z-1)\sum_{k=1}^{n}U_k(z)+\gamma(z-1)\times$$
$$\times\sum_{k=1}^{n}U_{n+k}(z)+(z-1)(U_{2n+1}(z)+U_{2n+2}(z))\ge 0,$$
$$-\frac{\alpha_2\sum_{k=1}^{n}U_k(z)}{z-1}+(1-\beta)\sum_{k=1}^{n}U_{n+k}(z)\ge 0,$$

$$U_{n+k}(z) \le Q_k(z)\ (k = 1, ..., n_1),$$
$$U_{n+k}(z) \le \frac{\delta_k U_k(z)}{z-1}\ (k = 1, ..., n_2),$$
$$U_{2n+1}(z) \le I_0,\ U_{2n+2}(z) \le K_0,$$
$$U_k(z) \ge 0\ (k = 1, ..., 2n+2),$$
$$\overline{J}(\mu, z) = \frac{[1-2\mu]\theta\sum_{k=1}^{n} U_k(z)}{z-1} + \tag{9}$$
$$+ [\mu\gamma + (1-\mu)\rho]\sum_{k=1}^{n} U_{n+k}(z) -$$
$$-\mu[U_{2n+1}(z) + U_{2n+2}(z)] \to \max\ (\mu \in (0;1)).$$

Анализируя задачу (9), нетрудно найти из 3-го и 4-го ее ограничений, что имеют место равенства, являющиеся статическими аналогами соотношений (8):

$$U^*_{n+k}(z) = \begin{cases} Q_k(z)\ (k = n_2+1, ..., n_1),\ n_1 > n_2; \\ \dfrac{\delta_k U^*_k(z)}{z-1}\ (k = n_1+1, ..., n_2),\ n_2 > n_1. \end{cases} \tag{10}$$

Заметим, что если применить к равенствам (8) z-преобразование при $z = 1 + r > 1$ и принять во внимание формулу $X_k(z) = \dfrac{U_k(z)}{z-1}\ (k = 1, ..., n_2)$, следующую из первого уравнения в (6), то вновь получим соотношения (10), используя которые, можно добиться дополнительного упрощения задачи (9).

В силу неравенства (7) можно оценить оптимальную стоимость ИП, реализуемого в соответствии с моделью (1), (2), решая задачу (9) существенно меньшей размерности. Если оптимальное значение свертки $\overline{J}^*(\mu, z)$ в упомянутой ЗЛП, трактуемое как средняя стоимость проекта, меньше величины, на которую рассчитывают производитель и представитель государственного органа, то оптимальное значение свертки $J^*(\mu)$ в модели (1), (2) тем более не будет устраивать указанных экономических агентов.

Легко видеть, что задача (9), а значит, и равносильная ей ЗЛП (6), не имеет решения, если

$$\begin{cases} n_1 < n, \\ n_2 < n. \end{cases}$$

Рассмотренный подход позволяет на базе операционного исчисления строить по исходной динамической модели реальных инвестиций ее агрегированную версию меньшей размерности и оценивать эффективность инвестиционных проектов в условиях частичной неопределенности информации о таких важных рыночных показателях, как спрос на производимую продукцию и максимальная фондоотдача производственных активов при выработке компромиссных решений с учетом целей нескольких экономических агентов.

Библиографические ссылки

1. Медведев А. В., Победаш П. Н. Параметрический анализ линейных динамических задач реального инвестирования с помощью z-преобразования // Вестник унив. комплекса. 2005. Вып. 4 (18). С. 139–149.

2. Медведев А. В. Применение z-преобразования к исследованию многокритериальных линейных моделей регионального экономического развития : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008.

3. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М. : Наука, 1982.

P. N. Pobedash, O. E. Semenkina, S. I. Senashov

AGGREGATIVE MODEL OF REAL INVESTMENT UNDER PARTLY UNCERTAIN DEMAND AND RETURNS OF PRODUCTIVE ASSETS

The authors offer to apply z-transformation to the estimation of effectiveness of investment projects under partial uncertainty of demand for its production and efficiency of capital stock.

Keywords: multistage linear optimal control problem, z-transformation.

© Победаш П. Н., Семенкина О. Э., Сенашов С. И., 2011

УДК 005; 519.7; 303.732

И. С. Рыжиков

РЕШЕНИЕ ТЕРМИНАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается метод решения задачи терминального управления нелинейными динамическими системами, основанный на методе эволюционных стратегий. Синтез функции управления состоит в определении характеристик идеального двухпозиционного реле.

Ключевые слова: управление, эволюционные стратегии, динамические системы, нелинейная динамика.

Рассматривается один из методов решения задачи управления нелинейным динамическим объектом. Имеем объект, заданный нелинейным дифференциальным уравнением

$$\frac{dx}{dt} = f(x,u). \qquad (1)$$

Необходимо найти такую функцию управления $u(t)$, что за конечное время T система (1) перейдет из начального состояния $x(0) = x^0$ в конечное $x(T) = x^T$.

Поскольку для линейной динамической системы решение задачи оптимального управления может быть найдено методом моментов [1; 2] (решение, которое при функционалах определенного вида представляет собой идеальное реле), то допустим, что терминальная задача для нелинейной системы может быть решена при функции управления аналогичного типа.

Такая ситуация имеет место в задачах оптимального управления, если управление u входит линейно в гамильтониан $H(x,p,u) = \varphi_1(x,p) + \varphi_2(x,p)u$ и управление ограничено по модулю. Так обстоит дело, например, в задаче быстродействия. В этом случае максимизация гамильтониана по u в принципе максимума приводит к соотношению $u^{\text{opt}}(t) = u_{\max}\operatorname{sign}(\varphi_2(x,p))$ и, исключая u из краевой задачи принципа максимума, можно, решив двухточечную краевую задачу, решить и задачу оптимального управления.

Часто структура системы управления такова, что исполнительный механизм может действовать по принципу включено-выключено.

Таким образом, в этих случаях структура управления определена с точностью до неизвестных параметров – либо начальных условий для сопряженных переменных p, либо времен переключений управления с точностью до знака управления на первом включении.

Таким образом, для решения задачи необходимо найти функцию вида

$$u(t) = \begin{cases} -A, & t \in I_1; \\ A, & t \in I_2, \end{cases} \qquad (2)$$

где I_1, I_2 – множества интервалов, определенных точками переключения, такие, что $I_1 \cup I_2 = [0,T]$; A – амплитуда реле.

Пусть $R = \left\{ r_i : r_i < r_{i+1}, r_i \in R^+ \ \forall i = \overline{1,k}, r_0 = 0 \right\}$ – множество всех точек переключений, тогда при известном значении функции управления в момент времени определим множества интервалов I_1, I_2. Если $u(0) < 0$, то $I_1 = \left\{ (r_{2\cdot i-2}, r_{2\cdot i-1}], 2\cdot i - 1 < \operatorname{card}(R), i \in \mathrm{N} \right\}$ и $I_2 = \left\{ (r_{2\cdot i-1}, r_{2\cdot i}], 2\cdot i < \operatorname{card}(R), i \in \mathrm{N} \right\}$, а при $u(0) > 0$: $I_1 = \left\{ (r_{2\cdot i-1}, r_{2\cdot i}], 2\cdot i < \operatorname{card}(R), i \in \mathrm{N} \right\}$ и

$$I_2 = \left\{ (r_{2\cdot i-2}, r_{2\cdot i-1}], 2\cdot i - 1 < \operatorname{card}(R), i \in \mathrm{N} \right\}.$$

Таким образом, задачу поиска можно сформулировать следующим образом:

$$F(R,A) = \left\| x^T - x(T)\big|_{A=A^*,\, R=R^*} \right\| \to \min_{A^*,R^*}, \qquad (3)$$

при ограничениях

$$r_i < r_{i+1}, r_i \in R^+ \ \forall i = \overline{1,k}. \qquad (4)$$

Задачу (3) при ограничениях (4) можно решить с помощью гибридного модифицированного метода эволюционных стратегий [3], при заранее фиксированном числе переключений k. От ограничений типа (4) можно уйти, распределив каждый ген, кроме первого – который будет отвечать за амплитуду начальной популяции на интервале $[0, R']$, где R' – любое положительное вещественное число, и изменив операцию мутации

$$\mathrm{op}_{i,j} = \left| \mathrm{op}_{i,j} + T_{i,j} \cdot N(0, \mathrm{sp}_{i,j}) \right|,$$
$$\mathrm{sp}_i = \mathrm{sp}_i + T \cdot N(0,1),$$

где $i = \overline{1,N}$ – номер индивида в популяции; $j = \overline{2,n}$, n – размерность признакового пространства.

Таким образом, случайный поиск будет осуществляться только среди положительных чисел – для точек переключения, на всей числовой прямой – для амплитуды. Для разрешения неравенства $r_i < r_{i+1}$ представим каждого индивида следующим образом: $\mathrm{op}_{i,1}$ – амплитуда реле, $r_i = \sum_{j=1}^{i} \mathrm{op}_{i,j+1}, i = \overline{1,k}$ – точки переключения.

В итоге управление будет определено по решению задачи на безусловный экстремум (3). Таким образом, в качестве решения мы получим функцию управления с числом точек переключения меньшим либо равным k.

Пример 1. Приведем пример решения двухточечной краевой задачи для системы

$$x' + 2\cdot\sin(x) = u(t),\quad x(0) = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$x(T) = \begin{pmatrix} -3 \\ 0 \end{pmatrix},\quad T = 5. \qquad (5)$$

Пусть $k = 10$. Для 100 индивидов и 50 популяций работы модифицированного алгоритма эволюционных стратегий с локальным спуском: для 10 случайно выбранных индивидов выполняется покоординатный спуск для 5 случайно выбранных генов – 5 шагов величиной 0.05. Настройки алгоритма: турнирная селекция (размер турнира – 10), дискретное скрещивание. Далее перечисленные настройки алгоритма не менялись. Нелинейное дифференциальное уравнение решалось методом Рунге–Кутты 4-го порядка точности.

Траектории системы и найденное управление представлены на рис. 1. Конечное состояние системы – $x(T) = \begin{pmatrix} -2,997\,8 \\ -0,001\,679\,5 \end{pmatrix}$.

Пример 2. Рассмотрим задачу с другими условиями:

$$x'\cdot x^2 + x\cdot u(t) = 0,\quad x(0) = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix},$$

$$x(T) = \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \end{pmatrix},\quad T = 5. \qquad (6)$$

Траектории системы и управление представлены на рис. 2. Вектор конечного состояния системы $x(T) = \begin{pmatrix} 3,015\,3 \\ -1,965\,5 \end{pmatrix}$.

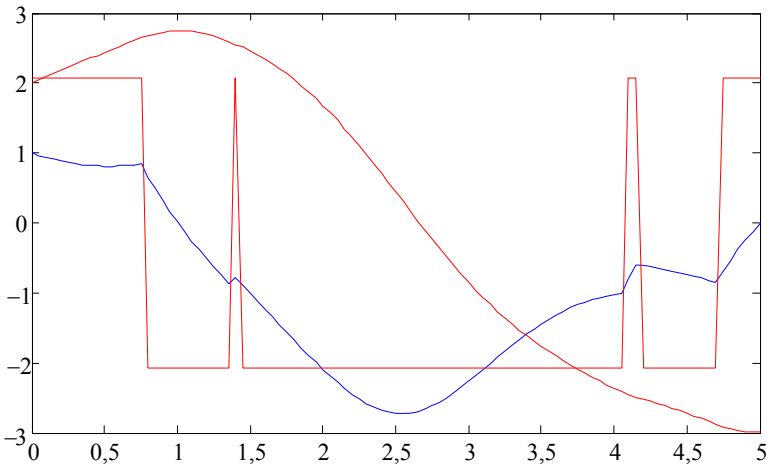


Рис. 1

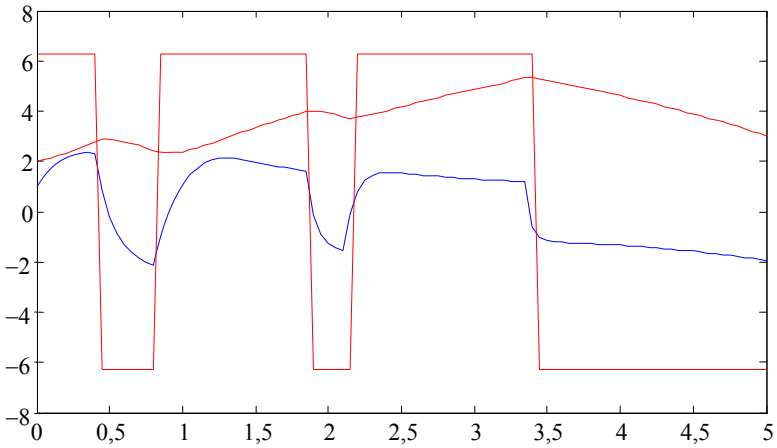


Рис. 2

В том случае, когда нужно найти управление с фиксированным числом точек переключений, определим множество всех точек переключения следующим образом: $R = \left\{ r_i : r_i < r_{i+1}, r_i \in (0, T]\ \forall i = \overline{1,k},\ r_0 = 0 \right\}$ и к ограничениям типа (4) введем еще одно ограничение:

$$r_k < T,$$

или, в иной форме:

$$\sum_{j=1}^{k} \mathrm{op}_{i,j+1} < T.$$

Тогда задача поиска будет выглядеть следующим образом:

$$F(R, A) = \left\| x^T - x(T)\big|_{A=A^*,\ R=R^*} \right\| +$$

$$+\ \alpha \cdot \varphi\left(\sum_{j=1}^{k} \mathrm{op}_{i,j+1} - T\right) \to \min_{A^*, R^*},$$

где $\varphi(x) = \begin{cases} \|x\|, & x > 0 \\ 0, & x \le 0 \end{cases}$ – функция штрафа за нарушение ограничений; α – весовой коэффициент.

Приняв $\alpha = 10$, решим задачи (5) и (6). Конечные состояния системы, соответственно $x(T) = \begin{pmatrix} -2,992\,4 \\ -0,018\,241 \end{pmatrix}$ и $x(T) = \begin{pmatrix} 2,999\,6 \\ -1,999\,6 \end{pmatrix}$. Графики траекторий системы и найденного управления представлены на рис. 3 и 4.

Отметим, что в случае когда следующая точка переключения располагается на расстоянии меньшем, чем шаг интегрирования от предыдущей точки, то фактически никаких изменений при данной схеме предыдущая точка не вносит. Происходит своего рода косвенная настройка алгоритмом количества точек переключений, хоть и не такая очевидная и эффективная, как в задаче (3) с ограничениями (4).

Библиографические ссылки

1. Охорзин В. А. Прикладная математика в системе Mathcad / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

2. Рыжиков И. С. Оптимальное управление линейными системами методом моментов // Материалы VIII Всерос. конф. молодых ученых по мат. моделированию и информ. технологиям. Новосибирск, 2007. С. 70.

3. Охорзин В. А., Рыжиков И. С. Гибридный модифицированный метод эволюционных стратегий для решения задач идентификации динамических систем // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 4 (30). С. 20–23.

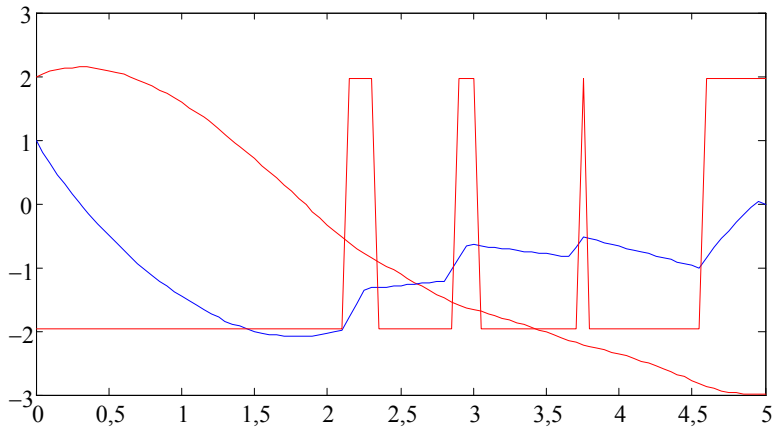


Рис. 3

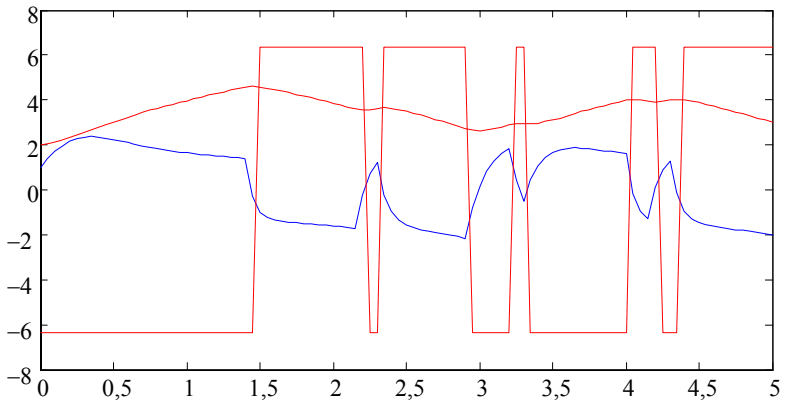


Рис. 4

I. S. Ryzhikov

SOLUTION OF THE PROBLEM OF TERMINAL CONTROL FOR NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS

The author considers a terminal control task solution method for nonlinear dynamic systems, method is based on evolutionary strategies algorithm modification. The control function synthesis is reduced to ideal two-step relay characteristics determination.

Keywords: control, evolutionary strategies, dynamic system, nonlinear dynamics.

© Рыжиков И. С., 2011

УДК 539.374

С. И. Сенашов, О. В. Гомонова, А. Е. Михеев

О ПОСТРОЕНИИ ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ИЗВЕСТНЫХ НЕОСОБЫХ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ*

Построено новое поле скоростей для уравнений пластичности, описывающих сжатие пластического слоя между плитами, сближающимися с разными скоростями.

Ключевые слова: пластичность, поля скоростей, точные решения.

Пусть известно неособое напряженное состояние идеальной пластической среды для плоского деформированного состояния $\sigma = \sigma(x, y)$, $\theta = \theta(x, y)$ [1]. В этом случае для нахождения соответствующего поля скоростей можно искать либо решение системы уравнений с переменными коэффициентами:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} = -\operatorname{tg} 2\theta \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ &\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \end{aligned} \tag{1}$$

либо решение системы с постоянными коэффициентами:

$$\frac{\partial U}{\partial \eta} - \frac{1}{2} V = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial \xi} - \frac{1}{2} U = 0, \tag{2}$$

где $u = U \cos\theta - V \sin\theta$, $v = U \sin\theta + V \cos\theta$. Здесь (u, v) – компоненты вектора скорости вдоль осей Ox и Oy, а (U, V) – компоненты вектора скорости вдоль характеристик системы (1).

Решения данных уравнений другим способом были получены авторами ранее [2].

Традиционно исследователи решают систему уравнений (1). Несмотря на то что с первого взгляда эта система кажется достаточно простой, ее решений известно не так много. Это объясняется тем, что выражение для $\operatorname{tg} 2\theta$ является довольно сложным, даже для решения Прандтля $\operatorname{tg} 2\theta = \frac{\sqrt{1 - y^2}}{y}$. Для этого случая известно всего два решения. Одно получено А. Надаи, второе – почти одновременно Д. Д. Ивлевым и С. И. Сенашовым.

Гораздо более перспективным является второй путь нахождения полей скоростей. Он позволяет для каждого решения уравнений (2) сразу строить поле скоростей для любых неособых напряженных состояний.

Укажем решения для неособых напряженных состояний. Для этого приведем систему (2) к телеграфному уравнению

$$\frac{\partial^2 U}{\partial \xi \partial \eta} - \frac{1}{4} U = 0. \tag{3}$$

В силу симметрии $\xi' = a\xi$, $\eta' = \frac{\eta}{a}$, которая допускается уравнением (3), его решение следует искать в виде $U = U(\xi\eta) = U(z)$.

Тогда (3) приводится к виду

$$zU'' - \frac{1}{4} U = 0.$$

Общее решение последнего уравнения имеет вид

$$U = \sqrt{\xi\eta} \left(C_1 I_1 \left(\sqrt{\xi\eta} \right) + C_2 K_2 \left(\sqrt{\xi\eta} \right) \right),$$

где I_1, K_1 – модифицированные функции Бесселя первого и второго рода; C_i – произвольные постоянные.

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (код проекта П1121) и «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.1 (3023).

Еще одно очевидное решение уравнения (3):

$$U = \exp\left(\pm\frac{\xi+\eta}{2}\right).$$

Для построения других решений уравнения (2) запишем его в другом виде. Для этого введем переменные $z = \frac{\xi+\eta}{2}$ и $t = \frac{\eta-\xi}{2}$. В этих переменных уравнение (3) примет вид

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - U = 0. \qquad (4)$$

Будем искать решение уравнения (4) в виде $U = Z(z)T(t)$, тогда (4) принимает вид

$$\frac{Z''}{Z} - \frac{T''}{T} - 1 = 0,$$

откуда получаем

$$Z'' - \lambda Z = 0, \quad T'' - \mu T = 0, \quad \lambda - \mu - 1 = 0,$$

где λ, μ – произвольные параметры.

Имеем следующие возможные варианты значений параметров λ, μ (здесь a, b – произвольные постоянные):

1) $\lambda = a^2,\ \mu = b^2,\ a^2 - b^2 = 1;$

2) $\lambda = a^2,\ \mu = -b^2,\ a^2 + b^2 = 1;$

3) $\lambda = a^2,\ \mu = 0,\ a = \pm 1;$

4) $\lambda = -a^2,\ \mu = b^2,\ a^2 + b^2 = -1;$

5) $\lambda = -a^2,\ \mu = -b^2,\ b^2 - a^2 = 1;$

6) $\lambda = -a^2,\ \mu = 0,\ a^2 = -1;$

7) $\lambda = 0,\ \mu = b^2,\ b^2 = -1;$

8) $\lambda = 0,\ \mu = -b^2,\ b = \pm 1.$

Для случаев 1– 3, 5, 8 получаем решения уравнения (4), где C_i – произвольные константы:

1) $U = \left(C_1 e^{az} + C_2 e^{-az}\right)\left(C_3 e^{bt} + C_4 e^{-bt}\right);$

2) $U = \left(C_1 e^{az} + C_2 e^{-az}\right)\left(C_3 \sin bt + C_4 \cos bt\right);$

3) $U = \left(C_1 e^{az} + C_2 e^{-az}\right)\left(C_3 t + C_4\right);$

5) $U = \left(C_1 \sin az + C_2 \cos az\right)\left(C_3 \sin bt + C_4 \cos bt\right);$

8) $U = \left(C_1 z + C_2\right)\left(C_3 \sin t + C_4 \cos t\right).$

Вернемся к исходным координатам. Тогда $z = \frac{\xi+\eta}{2} = \frac{\sigma}{2k}$, $t = \frac{\eta-\xi}{2} = \theta$. В силу этого наиболее просто будут выглядеть решения 2, 5, 8. Запишем их в исходных координатах:

$$U_2 = \left(C_1 e^{a\frac{\sigma}{2k}} + C_2 e^{-a\frac{\sigma}{2k}}\right)\left(C_3 \sin bt + C_4 \cos bt\right);$$

$$U_5 = \left(C_1 \sin a\frac{\sigma}{2k} + C_2 \cos a\frac{\sigma}{2k}\right)\left(C_3 \sin bt + C_4 \cos bt\right);$$

$$U_8 = \left(C_1 \frac{\sigma}{2k} + C_2\right)\left(C_3 \sin t + C_4 \cos t\right).$$

Все эти решения можно использовать с решением Прандтля, положив в них $\sigma = \frac{1}{2}\left(-x - \sqrt{1-y^2}\right)$, $y = \cos 2\theta$.

Для отбора решения поставим краевые условия. Имеем

$$V\big|_{y=1} = V_1,\ V\big|_{y=-1} = V_2.$$

Тогда получаем

$$v = U\sin\theta + V\cos\theta = U\sqrt{\frac{1-y}{y}} + V\sqrt{\frac{1+y}{y}},$$

и $v\big|_{y=1} = V\big|_{y=1} = V_1$, $v\big|_{y=-1} = U\big|_{y=-1} = V_2$.

Подберем такие функции, для которых $U\big|_{y=-1} = V_2$. После ряда преобразований убеждаемся, что данному условию удовлетворяет только функция U_8.

Таким образом, получаем следующее новое решение (новое поле скоростей) для уравнения (1), которое описывает сжатие пластического слоя плитами, сближающимися с различными скоростями:

$$\begin{cases} u = \left(V_1 - V_2\right)\cos\theta + V_2 \sin\theta, \\ v = V_1 \cos\theta + \frac{\sigma}{2k}\left(V_1 - V_2\right)\sin\theta. \end{cases}$$

На плите, заданной уравнением $y = -1$, скорость равна V_1; на плите, заданной уравнением $y = 1$, скорость равна V_2.

Библиографические ссылки

1. Предельное состояние деформированных тел и горных пород / Д. Д. Ивлев, Л. А. Максимова, Р. И. Непершин и др. М. : Физматлит, 2008.

2. Сенашов С. И., Гомонова О. В. Эволюция характеристик решения Прандтля // Сиб. журн. индустр. математики. 2007. Т. X. № 4 (32). С. 118–121.

S. I. Senashov, O. V. Gomonova, A. E. Mikheev

ABOUT CONSTRUCTION OF FIELDS OF VELOCITIES FOR KNOWN NONSINGULAR STRESS FIELDS

The authors set up a new field of velocity for the equations of plasticity, which describe a pressure of a plastic layer between two plates approximating different velocities.

Keywords: plasticity, fields of velocity, exact solutions.

© Сенашов С. И., Гомонова О. В., Михеев А. Е., 2011

УДК 539.374

С. И. Сенашов, Е. В. Филюшина, Е. А. Попов

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТОЧНЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ВЫСШИМИ СИММЕТРИЯМИ*

Показано, как высшие симметрии плоской идеальной пластичности действуют на точные решения. Получены новые решения.

Ключевые слова: двумерная пластичность, точные решения, высшие симметрии.

1. Рассмотрим дифференциальные уравнения теории идеальной пластичности в плоском случае [1]:

$$F_1 = \frac{\partial\sigma}{\partial x} - 2k(\cos 2\theta \frac{\partial\theta}{\partial x} + \sin 2\theta \frac{\partial\theta}{\partial y}) = 0, \qquad (1)$$

$$F_2 = \frac{\partial\sigma}{\partial x} - 2k(\sin 2\theta \frac{\partial\theta}{\partial y} - \cos 2\theta \frac{\partial\theta}{\partial x}) = 0,$$

где $\sigma_x = \sigma - k\sin 2\theta$, $\sigma_y = \sigma + k\sin 2\theta$, $\tau = k\cos 2\theta$ – компоненты тензора напряжений; σ – гидростатическое давление; $\theta = (1;x) - \frac{\pi}{4}, (1;x)$ – угол между первым главным направлением тензора напряжений и осью OX.

Известно, что система уравнений (1) допускает бесконечную группу точечных симметрий, бесконечную алгебру высших симметрий и бесконечную систему законов сохранения [2].

Точечная группа, допускаемая системой (1), уже неплохо изучена. С ее помощью удалось построить новые серии точных решений системы (1) и изучить качественные свойства уравнений.

Законы сохранения, допускаемые системой (1), позволили в аналитическом виде решить краевые задачи Коши и Римана.

В данной статье впервые будет показано, как высшие симметрии используются для построения новых точных решений уравнений (1).

2. Приведем необходимые сведения о высших симметриях уравнения (1).

Пусть

$$\frac{\partial^{i+j}\sigma}{\partial x^i \partial y^j} = p_{ij}^1, \frac{\partial^{i+j}\theta}{\partial x^i \partial y^j} = p_{ij}^2, i, j = 1, 2, \dots .$$

Рассмотрим бесконечномерное пространство J^∞ с координатами $(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k)$ $k = 1, 2, \dots$ и преобразование этого пространства вида

$$\begin{aligned} x' &= f^1(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \\ y' &= f^2(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \\ \sigma' &= g^1(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \\ \theta' &= g^2(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \end{aligned} \qquad (2)$$

$$(p_{ij}^k)' = h_{ij}^k(x, y, \sigma, \theta, p_{ij}^k, \alpha), \quad k = 1, 2, \dots; \; i, j = 1, 2, \dots,$$

где α – одномерный параметр из некоторой окрестности нуля.

Пусть преобразования (2) образуют локальную однопараметрическую группу, тогда

$$\left(p_{ij}^1\right)' = \frac{\partial^{i+j}\sigma'}{\partial(x')^i \partial(y')^j}, \; \left(p_{ij}^2\right)' = \frac{\partial^{i+j}\theta'}{\partial(x')^i \partial(y')^j}.$$

Система уравнений (1) определяет в пространстве J^∞ следующую бесконечную систему уравнений

$$D_\sigma(F_1) = 0, \qquad (3)$$

Здесь оператор полной производной имеет вид

$$D_x = \frac{\partial}{\partial x} + \sum_{k,i,j} p_{i+1,j}^k \frac{\partial}{\partial p_{i,j}^k},$$

$$D_y = \frac{\partial}{\partial y} + \sum_{k,i,j} p_{i,j+1}^k \frac{\partial}{\partial p_{i,j}^k},$$

$$\sigma = (l, m), \; D_\sigma = D_x^e \circ D_y^m.$$

Будем говорить, что система уравнений (1) допускает группу преобразований (2), если бесконечная система (3) инвариантна при этих преобразованиях. Каждый однопараметрической группе (2) соответствует производная функция симметрий $\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix}$, которая определяется из системы уравнений

$$\overline{l_F \varphi} = 0. \qquad (4)$$

Черта вверху означает, что в уравнениях (4) следует перейти на многообразие (3). Уравнения (4) для системы (1) имеют вид

$$l_F = \begin{pmatrix} D_x & \begin{aligned} &-2k(-2\sin 2\theta \frac{\partial\theta}{\partial x} + 2\cos 2\theta \frac{\partial\theta}{\partial y} + \\ &+ \cos 2\theta D_x + \sin 2\theta D_y) \end{aligned} \\ D_y & \begin{aligned} &-2k(2\cos 2\theta \frac{\partial\theta}{\partial x} + 2\sin 2\theta \frac{\partial\theta}{\partial y} + \\ &+ \sin 2\theta D_x - \cos 2\theta D_y) \end{aligned} \end{pmatrix}.$$

Подробности вычислений высших симметрий и многочисленные примеры можно найти в [2] и цитируемой там литературе.

* Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.1 (3023).

3. Наиболее простая неточечная симметрия системы уравнений (1) имеет вид [2]

$$\varphi = \begin{pmatrix} \overline{y_{\xi\xi}} \\ -\frac{1}{2}\overline{y_{\xi}} \end{pmatrix},$$

где $\xi = \frac{\sigma}{2k} - \theta$, $\eta = \frac{\sigma}{2k} + \theta$, – инварианты Римана системы (1), $\overline{x} = x\cos\theta + y\sin\theta$, $\overline{y} = -x\sin\theta + y\cos\theta$.

Известен следующий факт. Пусть $(\sigma(x,y), \theta(x,y))$ – решение системы уравнений (1), которое в переменных $\overline{x}, \overline{y}$ обозначим через $\overline{x}_0, \overline{y}_0$, тогда величины $\sigma(x,y,\tau)$, $\theta(x,y,\tau)$, определяемые из системы

$$\overline{y_\tau} = \overline{y}_{\xi\xi}, \overline{y}(x,y,0) = \overline{y}_0,$$
$$\overline{x_\tau} = -\frac{1}{2}\overline{y}_\xi, \overline{x}(x,y,0) = \overline{x}_0, \qquad (5)$$

есть также решение системы (1).

4. Запишем известное решение Прандтля, описывающее сжатие пластического слоя жесткими плитами, в координатах $(\overline{x}, \overline{y})$.

Имеем [1]

$$\sigma_x = -k(x - 2\sqrt{1-y^2}),$$
$$\sigma_y = -kx, \ \tau = ky,$$

тогда

$$x = -\sigma/k - \sin 2\theta = (\xi+\eta) - \sin(\eta-\xi),$$
$$y = \cos 2\theta = \cos(\eta - \xi).$$

Окончательно получаем

$$\overline{x} = x\cos\theta + y\sin\theta = -(\xi+\eta)\cos\frac{\eta-\xi}{2} - \sin\frac{\eta-\xi}{2} = \overline{x}_0,$$
$$\overline{y} = -x\sin\theta + y\cos\theta =$$
$$= -(\xi+\eta)\sin\frac{\eta-\xi}{2} - \cos\frac{\eta-\xi}{2} = \overline{y}_0. \qquad (6)$$

Решаем первое уравнение системы (5) с начальным условием (6).

Решение этой задачи можно записать в виде

$$\overline{y}(\xi,\eta,\tau) = \overline{y}_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\tau^n}{n!} \frac{\partial^{2n}\overline{y}_0}{\partial\xi^{2n}}. \qquad (7)$$

Нетрудно видеть, что

$$\frac{\partial^{2n}\overline{y}_0}{\partial\xi^{2n}} = \frac{(-1)^n}{2^{2n}}\overline{y} + \left(-\frac{1}{2}\right)^n \cos\frac{\eta-\xi}{2}.$$

Сворачивая полученные ряды из (7), получаем

$$\overline{y}(\xi,\eta,\tau) = \overline{y}_0 \exp\left(-\tau/4\right) + \cos\theta\exp\left(-\tau/2\right) - \cos\theta.$$

Отсюда без труда получаем решение системы (1) в координатах (x, y, σ, θ):

$$y(\tau) = \overline{x}\sin\theta + \overline{y}\cos\theta =$$
$$= y_0\exp\left(-\tau/4\right) + \cos 2\theta\exp\left(-\tau/2\right) - \cos 2\theta, \qquad (8)$$

где $y_0 = \cos 2\theta$.

Из (8) следует, что

$$y(\tau) = y_0\exp\left(-\tau/4\right) + \exp\left(-\tau/2\right) - 1,$$

а это означает, что на данном решении высшая симметрия φ сводится к преобразованию вида $x' = e^t x$, $y = e^t y$.

Поэтому новых решений из решения Прандтля построить не удается.

5. Аналогичная ситуация складывается и с решением Надаи, описывающим напряженное состояние около круглого отверстия. Это решение имеет в полярной системе координат вид

$$\sigma_{rr} = 2k\ln r, \ \sigma_{\varphi\varphi} = 2k\ln r + 2k, \ \tau_{r\varphi} = 0.$$

6. Рассмотрим решение Надаи [1], описывающее течение в плоском сходящемся канале. Оно имеет вид

$$\sigma_{rr} = -2kc\ln r + k\cos 2\psi - kc\ln(c - \cos 2\psi),$$
$$\sigma_{\varphi\varphi} = -2kc\ln r - k\cos 2\psi - kc\ln(c - \cos 2\psi),$$
$$\tau_{r\varphi} = k\sin 2\psi, \ \sigma_r - \sigma_\varphi = 2k\cos 2\psi > 0,$$

где ψ – угол между первым главным направлением тензора напряжений и полярным радиусом.

Постоянная c связана с углом канала 2α:

$$\alpha + \pi/4 = \frac{c}{\sqrt{c^2-1}}\operatorname{arctg}\sqrt{\frac{c+1}{c-1}},$$
$$c > 0, \ 0 < \alpha < \pi/2.$$

Тогда уравнение первого семейства характеристик этого решения имеют вид [2]

$$x(\theta, c_1) = \exp\left(\frac{-(c_1+\theta)}{c}\right) S^{-1}(\theta),$$
$$y(\theta, c_1) = xT(\theta),$$

где

$$S(\theta) = \sqrt{c + cT^2(\theta) + \sin 2\theta\left[1 - T^2(\theta)\right] - 2T(\theta)\cos 2\theta},$$
$$T(\theta) = tg\left[\theta + \pi/4 - arctg\left(\sqrt{\frac{c-1}{c+1}}tg\left[\frac{c^2-1}{c}\left(\theta + \pi/4\right)\right]\right)\right].$$

Здесь c_1 – постоянная, определяющая характеристику; $\theta \in (0, \alpha)$ – параметр.

В этом случае уравнение преобразованных характеристик, симметрий φ, будут иметь вид

$$x(\tau,\xi,c_1) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\tau}}\int_{-\infty}^{\infty} x(\omega, c_1)\exp\left[-\frac{(\xi-\omega)^2}{4\tau}\right]d\omega,$$
$$y(\tau,\xi,c_1) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\tau}}\int_{-\infty}^{\infty} y(\omega, c_1)\exp\left[-\frac{(\xi-\omega)^2}{4\tau}\right]d\omega.$$

Аналогично выписываются преобразованные характеристики и второго семейства. Предварительные компьютерные расчеты показывают, что в этом случае высшая симметрия φ дает новое решение.

Библиографические ссылки

1. Хилл Р. Математическая теория пластичности. М. : Гостехтеоретиздат, 1956.
2. Киряков П. П., Сенашов С. И., Яхно А. Н. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений. Новосибирск : Наука, 2001.
3. Яхно Л. В. Суперпозиция решений Надаи и Прандтля для задач плоской пластичности // Сиб. журн. индустр. математики. 2009. № 3. С. 123–138.

S. I. Senashov, E. V. Filyushina, E. A. Popov

TRANSFORMATION OF EXACT SOLUTIONS OF EQUATIONS OF PLASTICITY WITH ADVANCED SYMMETRIES

The article shows how advanced symmetries of plane ideal plasticity influence on exact solutions. New solutions are obtained.

Keywords: two-dimensional plasticity, exact solutions, advanced symmetry.

© Сенашов С. И., Филюшина Е. В., Попов Е. А., 2011

УДК 539.374

С. И. Сенашов, Е. В. Филюшина, А. М. Попов, И. В. Ковалев

НЕКОТОРЫЕ ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ АНИЗОТРОПНОЙ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ*

С помощью группы непрерывных преобразований, допускаемых системой уравнений анизотропной пластичности в двумерном случае, найдены некоторые новые точные решения, которые являются аналогами точных решений в изотропном случае.

Ключевые слова: анизотропная теория пластичности, группа непрерывных преобразований, алгебра Ли.

1. Рассмотрим систему уравнений анизотропной теории пластичности в двумерном случае [1]:

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial\tau}{\partial y}=0,\quad \frac{\partial\sigma_y}{\partial y}+\frac{\partial\tau}{\partial x}=0, \tag{1}$$

$$\frac{\left(\sigma_x-\sigma_y\right)^2}{1-c}+4\tau^2=4k^2, \tag{2}$$

где σ_x,σ_y,τ – компоненты тензора напряжения; $1-c=\alpha^2$ – параметр анизотропии [1]; k – предел текучести при сдвиге.

В системе (1)–(2) введем переменные $k\sigma'_x=\sigma_x$, $k\sigma'_y=\sigma_y$, $k\tau'=\tau$, тогда вид уравнения (1) не изменится, а уравнение (2) примет вид

$$\frac{1}{\alpha^2}\left(\sigma'_x-\sigma'_y\right)^2+4\tau'^2=4. \tag{3}$$

В уравнениях (1), (3) сделаем замену:

$$\sigma'_x=\sigma-2\sin 2\theta,\quad \tau'=\cos 2\theta,$$
$$\sigma'_y=\sigma+2\sin 2\theta.$$

Получаем

$$\frac{\partial\sigma}{\partial x}-2\left(\alpha\frac{\partial\theta}{\partial x}\cos 2\theta+\frac{\partial\theta}{\partial y}\sin 2\theta\right)=0,$$
$$\frac{\partial\sigma}{\partial y}-2\left(\frac{\partial\theta}{\partial x}\sin 2\theta-\alpha\frac{\partial\theta}{\partial y}\cos 2\theta\right)=0. \tag{4}$$

Найдем характеристики системы (4).

Они имеют вид

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{1,2}=\frac{-2\cos 2\theta\pm\sqrt{\cos^2 2\theta\cdot\alpha^2+\sin^2 2\theta}}{\sin 2\theta}. \tag{5}$$

Соотношение на характеристиках (5) запишутся так:

$$\sigma=\pm 2\int\sqrt{\alpha^2\cos^2 2\theta+2\sin^2 2\theta}\,d\theta. \tag{6}$$

2. Найдем группу непрерывных преобразований, допускаемую системой (4). Допускаемый оператор ищем в виде [2]

$$X=\xi_1\frac{\partial}{\partial x}+\xi_2\frac{\partial}{\partial y}+\eta_1\frac{\partial}{\partial\sigma}+\eta_2\frac{\partial}{\partial\theta}, \tag{7}$$

где ξ_i зависят от x,y,σ,θ.

* Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.1 (3023).

Продолжим оператор (7) на первые производные и подействуем полученным оператором на уравнение (4). В полученных соотношениях перейдем на многообразие, задаваемое системой (4). В результате имеем полином второго порядка по производным $\frac{\partial\theta}{\partial x}, \frac{\partial\theta}{\partial y}$. Поскольку ξ_i, η_i зависят только от x, y, σ, θ, то полагаем коэффициенты при производных равными нулю. В результате получаем систему линейных дифференциальных уравнений на функции ξ_i, η_i. Решая эту систему, получаем искомые операторы вида (7).

Имеет место теорема.

Теорема. Система уравнений (4) при $\alpha^2 \neq 1$ допускает бесконечную алгебру Ли, которая порождается операторами

$$X_1 = x\frac{\partial}{\partial x} + y\frac{\partial}{\partial y}, \quad X_2 = \frac{\partial}{\partial \sigma},$$

$$X_+ = x_0(\sigma,\theta)\frac{\partial}{\partial x} + y_0(\sigma,\theta)\frac{\partial}{\partial y}, \tag{8}$$

где (x_0, y_0) – произвольное решение системы уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_0}{\partial \theta} - 2\left(-\alpha\dfrac{\partial y_0}{\partial \sigma}\cos 2\theta + \dfrac{\partial x_0}{\partial \sigma}\sin 2\theta\right) = 0, \\ \dfrac{\partial x_0}{\partial \theta} - 2\left(\dfrac{\partial y_0}{\partial \sigma}\sin 2\theta + \alpha\dfrac{\partial x_0}{\partial \sigma}\cos 2\theta\right) = 0. \end{cases} \tag{9}$$

Замечание. Если $\alpha^2 = 1$, то система уравнений (4) допускает еще два оператора [2]:

$$X_3 = -y\frac{\partial}{\partial x} + x\frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial \theta},$$

$$X_4 = \xi_1\frac{\partial}{\partial x} + \xi_2\frac{\partial}{\partial y} + 4\theta\frac{\partial}{\partial \sigma} - \sigma\frac{\partial}{\partial \theta},$$

где

$$\xi_1 = x\cos 2\theta + y\sin 2\theta + y\sigma,$$
$$\xi_2 = x\sin 2\theta - y\cos 2\theta - x\sigma.$$

Оператору X_1 соответствует группа однопараметрических преобразований, допускаемых системой (4):

$$x' = x\exp\alpha_1, \quad y' = y\exp\alpha_1,$$

где α_1 – групповой параметр.

Оператору X_2 соответствует группа однопараметрических преобразований

$$\sigma' = \sigma + \alpha_2.$$

Оператору X_+ соответствуют преобразования вида $x' = x + \alpha x_0(\sigma,\theta)$, $y' = y + \alpha y_0(\sigma,\theta)$, где (x_0, y_0) – произвольное решение системы (9).

3. Построим некоторые инвариантные решения системы (4).

Аналог решения Прандтля. Это решение инвариантно относительно преобразований, порождаемых оператором

$$X = \frac{\partial}{\partial \sigma} + \frac{\partial}{\partial x}.$$

Решение уравнений (4) следует искать в виде

$$\sigma = -x + f(y), \quad \theta = g(y), \tag{10}$$

где функции *f*, *g* определяются из (4) после подстановки туда соотношений (10). Имеем

$$\begin{cases} \sigma = -x + 2\alpha\sqrt{1-y^2}, \\ y = \cos 2\theta. \end{cases} \tag{11}$$

Найдем линии скольжения (характеристики) решения (11).

Для этого продифференцируем соотношение $y = \cos\theta$ по *x*. Имеем

$$\frac{dy}{dx} = -2\cos 2\theta\frac{d\theta}{dx} = \frac{-\alpha\cos 2\theta \pm \sqrt{\alpha^2\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta}}{\sin 2\theta}.$$

Разделяя в этом уравнении переменные, после несложных преобразований получаем

$$\left(-\alpha\cos 2\theta \pm \sqrt{\alpha^2\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta}\right)d2\theta = dx,$$

Или, если $|\alpha| > 1$, то

$$-2\sin 2\theta \pm \frac{1}{\alpha}\int_0^{2\theta}\sqrt{1-\left(\frac{\alpha^2-1}{\alpha^2}\right)\sin^2 z}\,dz = x + c,$$

или

$$-2\sin 2\theta \pm \frac{1}{\alpha}E\left(2\theta, \left(\frac{\alpha^2-1}{\alpha^2}\right)\right) = x + c, \tag{12}$$

где $E(\varphi, k)$ – эллиптический интеграл второго рода.

Если $|\alpha| < 1$, то из соотношения

$$-2\sin 2\theta \pm \frac{1}{\alpha}\int_0^{2\theta}\sqrt{1+\left(\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}\right)\sin^2 z}\,dz = x + c,$$

получаем

$$-2\sin 2\theta \pm \frac{1}{\alpha}\left[\sqrt{1+\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}}E\left(2\theta\frac{\sqrt{\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}}}{\sqrt{1+\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}}}\right) - \right.$$

$$\left. -\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}\frac{\sin 2\theta\cos 2\theta}{\sqrt{1+\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}+\sin^2 2\theta}}\right] = x + c,$$

или

$$-2\sin 2\theta \pm \frac{1}{|\alpha|}\left[\frac{1}{|\alpha|}E\left(2\theta\sqrt{1-\alpha^2}\right) - \right.$$

$$\left. -\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}\frac{\sin 2\theta\cos 2\theta}{\sqrt{1+\frac{1-\alpha^2}{\alpha^2}+\sin^2 2\theta}}\right] = x + c. \tag{13}$$

Если $\alpha = 1$, то получаем известную формулу $x = \pm 2\theta - \sin 2\theta + c$.

Аналог решения Надаи. Это решение инвариантное относительно группы, порожденной подалгеброй

$$x = x\frac{\partial}{\partial x} + y\frac{\partial}{\partial y} + \omega\frac{\partial}{\partial \sigma}.$$

Решение следует искать в виде

$$\sigma = \omega \ln x + f\left(y/x\right),$$
$$\theta = g\left(y/x\right),\ y/x = z. \qquad (14)$$

Для простоты рассмотрим случай $\omega = 0$. Подставим (14) в систему уравнений (4). Имеем

$$zf' + 2g'(-\alpha z\cos 2g + \sin 2g) = 0,$$
$$f' + 2g'(z\sin 2g + \alpha\cos 2g) = 0. \qquad (15)$$

Система уравнений (15) имеет нетривиальное решение, если

$$\left(z^2 - 1\right)\sin 2g + 2\alpha z\cos 2g = 0$$

или

$$\operatorname{tg} 2g = \frac{2\alpha z}{1 - z^2}. \qquad (16)$$

Дифференцируя (16) по переменной z, получим

$$\frac{2g'}{\cos^2 2g} = \frac{2\alpha(1+z^2)}{(1-z^2)^2}. \qquad (17)$$

Поскольку

$$\cos^2 2g = \frac{1}{1+\operatorname{tg}^2 2g} = \frac{\left(1-z^2\right)^2}{1+4\alpha^2 z^2},$$

то, подставляя это соотношение в (17) и во второе уравнение (15), имеем

$$f' = -\frac{2\alpha\left(1+z^2\right)}{1+4\alpha^2 z^2}\left(z\sin 2g + \alpha\cos 2g\right).$$

Имеем

$$\sin^2 2g = 1 - \cos^2 2g = 1 - \frac{1}{1+\operatorname{tg}^2 2g} = \frac{\operatorname{tg}^2 2g}{1+\operatorname{tg}^2 2g};$$

$$\sin 2g = \frac{\operatorname{tg} 2g}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2 2g}};$$

$$\sin 2g = \frac{\dfrac{2\alpha z}{1-z^2}}{\sqrt{\dfrac{\left(1-z^2\right)^2}{1+4\alpha^{2z^2}}}} = \frac{2\alpha z}{\sqrt{1+4\alpha^2 z^2}},$$

поэтому

$$f = -2\alpha\int\frac{\left(1+z^2\right)}{1+4\alpha^2 z^2}\left(z\cdot\frac{2\alpha z}{\sqrt{1+4\alpha^2 z^2}} + \alpha\frac{1-z^2}{\sqrt{1+4\alpha^2 z^2}}\right)dz.$$

Найдем характеристики этого решения. Имеем

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{1,2} = \frac{-2\cos 2\theta \pm \sqrt{\alpha^2\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta}}{\sin 2\theta} =$$

$$= \frac{-\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 + \operatorname{tg}^2 2\theta}}{\operatorname{tg} 2\theta} =$$

$$= \frac{-\alpha\left(1-z^2\right) \pm \sqrt{\alpha^2\left(1-z^2\right)^2 + 4\alpha^2 z^2}}{2\alpha z} =$$

$$= \frac{-\left(1-z^2\right) \pm \sqrt{\left(1+z^2\right)^2}}{2z} = \frac{-\left(1-z^2\right) \pm \left(1+z^2\right)}{2z},$$

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{1,2} = \frac{z^2 - 1 \pm \left(1+z^2\right)}{2z} = \begin{cases} z \\ -1/z \end{cases}. \qquad (18)$$

Интегрируя уравнения (18), получаем два семейства характеристик: $y/x = \text{const}$, $x^2 + y^2 = \text{const}$.

4. Для построения других новых решений уравнений (4) и их характеристик следует построить некоторые решения уравнений (9). Решение уравнений (9) можно искать в виде

$$x_0 = \beta\sigma + A(\theta),$$
$$y_0 = B(\theta); \qquad (19)$$
$$x_0 = A(\theta)\exp\sigma,$$
$$y_0 = B(\theta)\exp\sigma, \qquad (20)$$
$$x_0 = A(\theta)\sin\sigma + B(\theta)\cos\sigma, \qquad (21)$$
$$y_0 = a(\theta)\sin\sigma + b(\theta)\cos\sigma;$$
$$x_0 = A(\theta)\operatorname{sh}\sigma + B(\theta)\operatorname{ch}\sigma, \qquad (22)$$
$$y_0 = a(\theta)\operatorname{sh}\sigma + b(\theta)\operatorname{ch}\sigma,$$

где $a(\theta), b(\theta), A(\theta), B(\theta)$ – искомые функции; $\beta = \text{const}$.

После подстановки этих соотношений в уравнения (9) получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Каждое из таких решений дает бесконечную серию решений системы (9).

Лемма. Решение вида

$$x = \beta\sigma + A(\theta),$$
$$y_0 = B(\theta)$$

порождает бесконечную серию решений систем уравнений (9), а, следовательно, и бесконечную серию точных решений уравнений пластичности.

Доказательство

Подставляя (19) в (9), без труда получаем

$$x_0 = -\sigma - 2\sin 2\theta,\ \ y_0 = \cos 2\theta.$$

Это значит, что система (4) допускает оператор вида $X = x_0\partial_x + y_0\partial_y$.

Будем искать инвариантное решение системы (9) на подалгебре

$$X = \partial_\sigma - (\sigma + 2\sin 2\theta)\partial_x + \cos 2\theta\partial y.$$

Оно имеет вид

$$x_1 = -\tfrac{1}{2}\sigma^2 - 2\sigma\alpha\sin 2\theta + f(\theta),$$
$$y_1 = \sigma\cos 2\theta + g(\theta).$$

Подставляя эти соотношения в (9), имеем

$$x_1 = -\tfrac{1}{2}\sigma^2 - 2\sigma\alpha\sin 2\theta + c_1,$$
$$y_1 = \sigma\cos 2\theta - 2\alpha\theta.$$

Это и есть неявное решение системы уравнений (4).

Поскольку система (9) допускает оператор $X = x_1\partial_x + y_1\partial y$, то ее инвариантное решение можно искать на подалгебре

$$X = \partial_\sigma - (\tfrac{1}{2}\sigma^2 + 2\sigma\sin 2\theta)\frac{\partial}{\partial x} + (\sigma\cos 2\theta - 2\alpha\theta)\partial y.$$

Оно имеет вид

$$x_2 = -\tfrac{1}{2}\sigma^3 - \tfrac{1}{2}\sigma^2\alpha\sin 2\theta + f(\theta),$$
$$y_2 = -\tfrac{1}{2}\sigma^2\cos 2\theta - 2\alpha\theta\sigma + g(\theta).$$

Подставляя (x_2, y_2) в уравнения (9), найдем f, g, а, следовательно, еще одно неявное решение уравнений (4). Действуя таким же образом, мы сможем построить бесконечную серию решений как уравнений (9), так и уравнений (4).

Аналогичная ситуация имеет место и с другими решениями из (20).

Замечание. Решения $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \ldots$ порождают точечные симметрии, действуя которыми на решение Прандтля и его характеристики получаем еще бесконечные серии решений.

Этот способ построения решений будет описан в следующих статьях.

Библиографические ссылки

1. Хилл Р. Математическая теория пластичности. М. : Гостехтеоретиздат, 1954.

2. Киряков П. П., Сенашов С. И., Яхно А. Н. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений. Новосибирск : Наука, 2001.

S. I. Senashov, E. V. Filyushina, A. M. Popov, I. V. Kovalev

SOME EXACT SOLUTIONS OF EQUATIONS OF THE ANISOTROPIC THEORY OF PLASTICITY

With the help of a group of continuous transformations accepted by the system of equations of anisotropic plasticity in bivariate case there were found some new exact solutions, which are analogues of exact solutions in the isotropic case.

Keywords: anisotropic theory of plasticity, group of continuous transformations, the Lie algebra.

© Сенашов С. И., Филюшина Е. В., Попов А. М., Ковалев И. В., 2011

УДК 681.324

Н. Г. Треногин, Е. А. Веловатый, М. Н. Петров

ОПИСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОРНОЙ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА СИСТЕМ

Рассмотрен вопрос применения тензорного анализа для описания архитектуры управления предприятием телекоммуникационной отрасли.

Ключевые слова: управление, телекоммуникации, архитектура, предприятие.

Работу современного крупного предприятия всегда сопровождает набор необходимых для осуществления бизнес-деятельности информационных систем: система управления предприятием, система биллинга (для предприятий связи), система электронного документооборота и т. д.

Современные информационные системы в своей работе опираются не только на безупречно спроектированную техническую архитектуру или правильно выбранную систему баз данных, а зачастую обеспечивают стабильную работу за счет сочетания многих параметров. Принято говорить об «интегральном» подходе к обеспечению необходимых характеристик быстродействия и надежности систем.

С 2009 г. на предприятии связи макрорегионального филиала «Сибирь» ОАО «Ростелеком» эксплуатируется система управления предприятием на базе Oracle E-Business Suite.

В данной работе рассмотрен подход к оценке и повышению быстродействия системы управления предприятием. Для описания технической архитектуры системы управления предприятием предлагается ис-

пользовать тензорную методологию, которая позволяет представить систему в виде удобного для дальнейшего анализа набора величин.

При проектировании системы управления предприятием параметры производительности системы были рассчитаны исходя из определенного объема данных и количества работающих пользователей. В ходе эксплуатации эти параметры были превышены. Кроме того, исходя из изменения законодательства и требований бизнеса, был изменен код системы, что также ухудшило быстродействие.

В результате в определенный момент времени пользователи начали ощущать заметное замедление работы системы управления предприятием. Данное замедление является критичным для деятельности компании, поскольку не позволяет своевременно выполнить бизнес-процессы и получить необходимую отчетность.

Специалистами ИТ-блока компании был проведен анализ ситуации и намечен план решения проблемы, в который вошли следующие мероприятия.

1. Оптимизация производительности работы расширений.

В рамках данных работ были выявлены программы, которые выполнялись наиболее долго либо создавали наибольшую нагрузку на систему. Была произведена доработка расширений и на промышленный экземпляр установлены оптимизированные версии.

2. Разработка и внедрение процедур планирования запуска задач.

Для обеспечения повышения производительности системы была реализована схема установки приоритетов выполнения пользовательских запросов. В условиях пиковой загрузки системы данный подход дал возможность пользователям обеспечить бесперебойное выполнение важных и срочных бизнес-процессов. Также были подготовлены технические решения, позволяющие регламентировать работу пользователей.

3. Модернизация вычислительного комплекса.

Производительность любой информационной системы, обрабатывающей данные, имеет нелинейную зависимость от количества данных (т. е. при увеличении объема данных в два раза время их обработки увеличивается более чем в два раза). Поэтому параллельно с работами по снижению ресурсоемкости были проведены работы по увеличению мощности вычислительного комплекса: увеличение количества процессоров, увеличение объема оперативной памяти серверов, перераспределение мощности.

Для поиска оптимального решения задачи модернизации вычислительного комплекса была применена тензорная методология анализа систем.

Понятие тензорной методологии анализа систем. Процесс описания разнородных систем с помощью универсальных понятий элемента и структуры приводит к следующему обобщению: множество систем является множеством различных проявлений некоторой обобщенной абстрактной системы, а следовательно, элементы и структуры рассматриваемых систем определенным образом взаимосвязаны. В таком случае, имея результаты анализа одной системы, можно прикладывать их к другим системам с помощью некоторого количества стандартных преобразований. Абстрактная сложная система может быть рассмотрена как геометрический объект, помещенный в некоторое многомерное пространство, а все многообразие существующих систем – как проекции данного объекта в частные системы координат.

Теория преобразований систем координат рассматривается в рамках векторного исчисления. Математическим аппаратом, позволяющим оперировать обобщенными n-мерными пространствами и объектами в них, является тензорный анализ.

Автор тензорной методологии анализа систем – американский ученый и инженер Г. Крон [1; 2]. Крон сделал вывод, что инвариантом преобразований структуры является линейная форма, связанная с каждым элементом сети.

В приложении к теории связи дальнейшее развитие тензорная методология Г. Крона получила в работах [3; 4], в которых впервые использована тензорная методология для анализа вероятностно-временных характеристик в сетях связи.

Узловой метод анализа сети. В узловых сетях воздействующей величиной является интенсивность потока входящих в сеть сообщений λ, а величиной отклика – значение длины очереди, возникающей в системе массового обслуживания под действием λ при заданных интенсивностях обслуживания.

На первом этапе анализа узловых сетей тензорным методом необходимо установить вспомогательную сеть. К вспомогательной сети предъявляется следующее требование: получение уравнения состояния и компонент участвующих в нем геометрических объектов не должно представлять особой сложности. Простейшим частным случаем вспомогательной сети является примитивная сеть. Примитивная узловая сеть из n ветвей состоит из n не замкнутых обособленных ветвей.

Примитивная узловая сеть содержит n независимых подсетей и $2n$ узлов, и, следовательно, имеет $2n - n = n$ узловых пар. Два конца каждой ветви образуют узловую пару, через которую поступает и уходит поток сообщений интенсивностью λ. Ветвь представляет, таким образом, одно- или многоканальную двухполюсную однофазную сеть передачи дискретных сообщений.

Простейшим элементом примитивной узловой сети является ветвь, представляющая собой обособленный открытый путь. Для ее описания необходимы следующие геометрические объекты: λ – интенсивность потока сообщений, воздействующего на систему массового обслуживания, расположенную в ветви; N – длина очереди, возникающей в буфере системы массового обслуживания под действием входящего потока сообщений; f – интенсивность выхода обслуженных сообщений из системы массового обслуживания; является величиной, обратной времени задержки.

Согласно формуле Литтла, уравнение состояния простейшего элемента – двухполюсной однофазной сети передачи дискретных сообщений с системой массового обслуживания для узлового возбуждения – запишется как

$$\lambda = f \cdot N.$$

Геометрические объекты, необходимые для описания примитивной сети, представленные в матричной форме, имеют тот же вид, что и для элемента примитивной сети:

$$N = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \dots \\ N_n \end{bmatrix}; \ \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \end{bmatrix}; \ f = \begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,n} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n,1} & f_{n,2} & \dots & f_{n,n} \end{bmatrix},$$

где λ – интенсивности потоков сообщений, воздействующих на соответствующие ветви; N – значения длин очередей, которые возникают в буферах систем массового обслуживания, соответствующих ветвям, под действием поступающего потока сообщений; f – квадратная матрица значений интенсивности выхода обслуженных сообщений, размерностью n-строк на n-столбцов. Элементы главной диагонали представляют собой интенсивности выхода обслуженных сообщений из систем массового обслуживания в соответствующих ветвях. Остальные элементы матрицы отражают взаимное влияние систем массового обслуживания друг на друга.

Итак, матричное уравнение состояния примитивной сети:

$$\lambda = f \cdot N.$$

Эквивалентная система уравнений состояния примитивной сети:

$$\begin{cases} \lambda_1 = f_{1,1} \cdot N_1 + f_{1,2} \cdot N_2 + \dots + f_{1,n} \cdot N_n, \\ \lambda_2 = f_{2,1} \cdot N_1 + f_{2,2} \cdot N_2 + \dots + f_{2,n} \cdot N_n, \\ \dots\dots\dots \\ \lambda_n = f_{n,1} \cdot N_1 + f_{n,2} \cdot N_2 + \dots + f_{n,n} \cdot N_n. \end{cases}$$

Геометрические объекты, необходимые для описания исходной сети и уравнения состояния исходной сети, выраженные в матричной форме, имеют тот же вид, что и для примитивной сети, отличаясь лишь значениями компонент. Однако при соединении n отдельных ветвей в узловых сетях число независимых узловых пар уменьшается с n до $(n - k)$. Независимыми называются узловые пары, которые не могут быть выражены друг через друга, в то же время любая другая величина в сети может быть получена линейной комбинацией этих независимых узловых пар. Остальные k путей учитываются при помощи уравнений связи. Геометрический объект, связывающий переменные обеих систем, называется тензором преобразования. Уравнения преобразования переменных в узловой сети имеют вид

$$\begin{cases} N_1 = A_{1,1} \cdot N_1' + A_{1,2} \cdot N_2' + \dots + A_{1,n-k} \cdot N_{n-k}', \\ N_2 = A_{2,1} \cdot N_1' + A_{2,2} \cdot N_2' + \dots + A_{2,n-k} \cdot N_{n-k}', \\ \dots\dots\dots \\ N_n = A_{n,1} \cdot N_1' + A_{n,2} \cdot N_2' + \dots + A_{n,n-k} \cdot N_{n-k}'. \end{cases} \quad (1)$$

Коэффициенты при величинах N исходной сети представляют собой тензор преобразования A узловой сети:

$$A = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \dots & A_{1,n-k} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \dots & A_{2,n-k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n,1} & A_{n,2} & \dots & A_{n,n-k} \end{bmatrix},$$

Система уравнений (1) в матричной форме запишется следующим образом:

$$N = A \cdot N',$$

где N – длина очередей в ветвях примитивной (вспомогательной) сети; N' – вектор длин совокупных очередей в открытых путях исходной сети; A – матрица преобразования переменных (значений длин очередей) между примитивной и вспомогательной сетями.

Выразим закон преобразования вектора интенсивностей потоков сообщений λ, воздействующих на ветви примитивной сети, в вектор интенсивности потоков сообщений λ', воздействующих на узловые пары (открытые пути) исходной сети:

$$\lambda = A \cdot \lambda'. \quad (2)$$

Матрица значений интенсивности выхода обслуженных сообщений из систем массового обслуживания в исходной сети:

$$f' = A^T \cdot f \cdot A, \quad (3)$$

где T означает, что матрица A транспонирована.

Следовательно, компоненты f' исходной сети находятся по компонентам матрицы f примитивной сети с помощью формулы преобразования (3), причем размерность матрицы f' отличается от размерности f и равна $(n - k)$ строк на $(n - k)$ столбцов.

Запишем уравнение состояния исходной сети в матричной форме:

$$\lambda' = f' \cdot N'. \quad (4)$$

Результатом решения данной системы уравнений является определение длин очередей в открытых путях (между узловыми парами) исходной сети. Обычно это лишь промежуточный результат. В том случае, если вспомогательная сеть является примитивной, длины очередей в системах массового обслуживания, расположенных в отдельных ветвях исходной сети ($N'_в$) и интенсивности потоков сообщений, проходящих в отдельных ветвях ($\lambda'_в$) находятся по формулам

$$N'_в = A \cdot N', \ \ \lambda'_в = f \cdot A \cdot N' \quad (5)$$

соответственно.

Использование тензорной методологии для описания системы. Рассматриваемый подход дает значительное упрощение задачи описания и анализа не только сетей массового обслуживания при моделировании информационных систем, но и других задач из многих областей [5–7].

Рассмотрим схему работы систем и оборудования, являющихся составными частями системы управления предприятием макрорегионального филиала «Сибирь» ОАО «Ростелеком» (рис. 1).

Функционально данная система работает по принципу запуска и обработки запросов, с последующим предоставлением результатов. Запросами могут являться запуски выполняемых процедур обработки данных, запросы пользователей в виде получения отчетов и др. Система может не иметь возможности обработать сразу все запросы, поступившие в определенный момент времени. В этом случае образуется очередь запросов. Таким образом, система функционирует как система массового обслуживания (рис. 2).

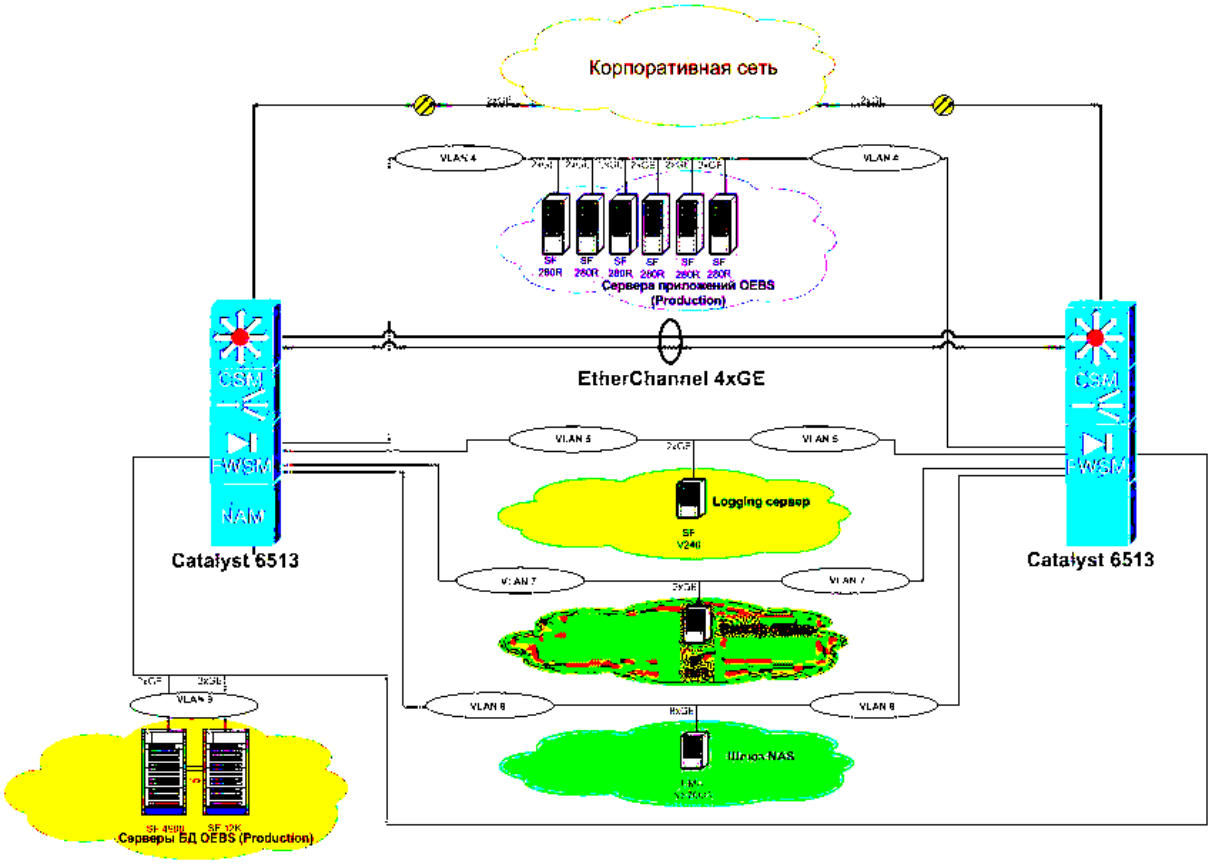


Рис. 1. Схема организации технической архитектуры системы управления предприятием

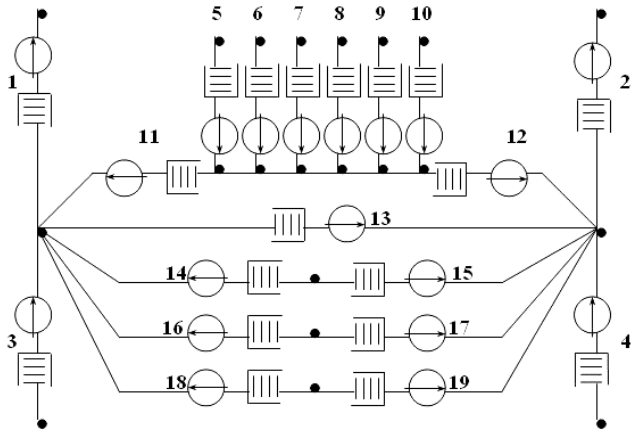


Рис. 2. Схема, представленная в виде системы массового обслуживания

С использованием тензорной методологии система описывается следующим образом:

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_{19} \end{bmatrix};$$

$$N = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \dots \\ N_{19} \end{bmatrix};$$

$$f = \begin{bmatrix} f_{1,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & f_{2,2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & f_{19,19} \end{bmatrix}.$$

Для анализа были выбраны следующие ветви системы:

a: 3 13 2	*c*: 5 11 14	*e*: 7 11 18	*g*: 9 12 17
b: 4 13 1	*d*: 6 11 16	*f*: 8 12 15	*h*: 10 12 19

Матрица тензора преобразования:

$$A = \begin{bmatrix}
0&1&0&0&0&0&0&0\\
1&0&0&0&0&0&0&0\\
1&0&0&0&0&0&0&0\\
0&1&0&0&0&0&0&0\\
0&0&1&0&0&0&0&0\\
0&0&0&1&0&0&0&0\\
0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0\\
0&0&0&0&0&0&1&0\\
0&0&0&0&0&0&0&1\\
0&0&1&1&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&1&1\\
1&1&0&0&0&0&0&0\\
0&0&1&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0\\
0&0&0&1&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&1&0\\
0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&1
\end{bmatrix};$$

$$A^T = \begin{bmatrix}
0&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0\\
1&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&1&0&0&1&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&1&0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&1&0\\
0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&1&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&1&0&0&0&0&1&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&0&0&1
\end{bmatrix}.$$

С учетом формул (2)–(4):

$$\begin{cases}
\lambda_3 + \lambda_{13} + \lambda_2 = (f_{3,3} + f_{13,13} + f_{2,2}) \cdot N_a + f_{13,13} \cdot N_b, \\
\lambda_4 - \lambda_{13} + \lambda_1 = (f_{4,4} - f_{13,13} + f_{1,1}) \cdot N_b - f_{13,13} \cdot N_b, \\
\lambda_5 + \lambda_{11} - \lambda_{14} = (f_{5,5} + f_{11,11} - f_{14,14}) \cdot N_c + \\
+ f_{11,11} \cdot N_d + f_{11,11} \cdot N_e, \\
\lambda_6 + \lambda_{11} - \lambda_{16} = f_{11,11} \cdot N_c + (f_{6,6} + f_{11,11} - f_{16,16}) \times \\
\times N_d + f_{11,11} \cdot N_e, \\
\lambda_7 + \lambda_{11} - \lambda_{18} = f_{11,11} \cdot N_c + f_{11,11} \cdot N_d + \\
+ (f_{7,7} + f_{11,11} - f_{18,18}) \cdot N_e, \\
\lambda_8 + \lambda_{12} - \lambda_{15} = (f_{8,8} + f_{12,12} - f_{15,15}) \cdot N_f + \\
+ f_{11,11} \cdot N_g + f_{11,11} \cdot N_h, \\
\lambda_9 + \lambda_{12} - \lambda_{17} = f_{11,11} \cdot N_f + (f_{9,9} + f_{12,12} - f_{17,17}) \times \\
\times N_g + f_{11,11} \cdot N_h, \\
\lambda_{10} + \lambda_{12} - \lambda_{19} = f_{11,11} \cdot N_f + f_{11,11} \cdot N_g + \\
+ (f_{10,10} + f_{12,12} - f_{19,19}) \cdot N_h.
\end{cases}$$

Таким образом, мы получили систему уравнений, соответствующую формуле (4). Так же могут быть получены формулы (5) для данной системы.

Использование средств автоматизации расчета параметров. Для наглядного отображения систем и расчета характеристик часто используют специализированные программные средства. Авторами статьи разработана программа автоматизации описания систем с применением тензорной методологии (рис. 3).

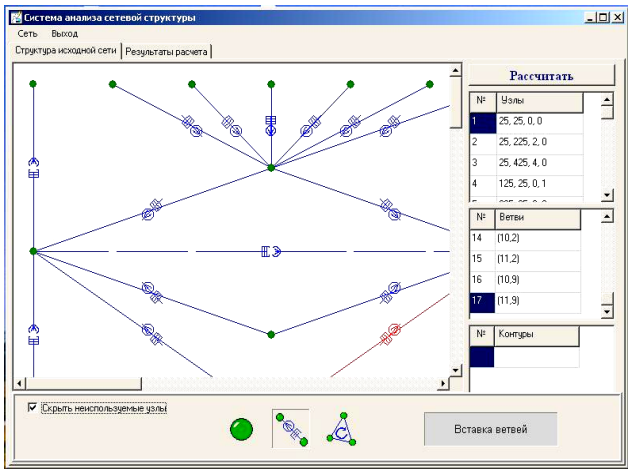


Рис. 3. Интерфейс программы анализа сетевой структуры

Программа имеет пользовательский интерфейс для составления схемы исследуемой системы. Пользователю необходимо определить узлы сети, ветви и указать последовательность обхода узлов. После окончания составления схемы необходимо нажать кнопку «Рассчитать», и программа сформирует все параметры описания системы.

Изложим результаты работ по оптимизации производительности. После проведения мероприятий 1–3, описанных выше, в том числе работ по модернизации вычислительного комплекса, необходимый результат по оптимизации производительности системы управления предприятием был достигнут (рис. 4).

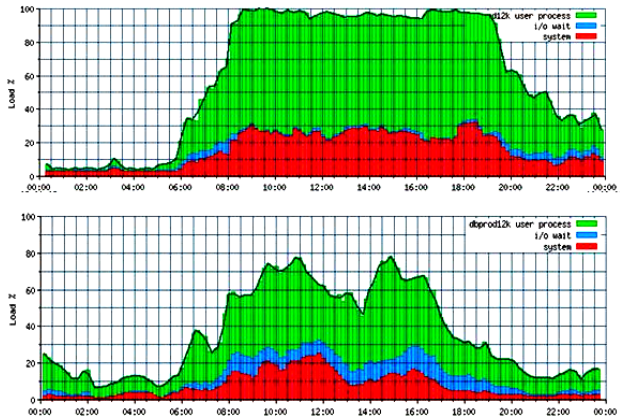


Рис. 4. Показатели загруженности системы управления предприятием до и после проведения процедур оптимизации производительности

Полученная в результате аналитического анализа и расчетов система уравнений позволила получить информацию о том, какие именно параметры системы необходимо улучшить, т. е. увеличить и перераспределить ресурсы определенных серверов, чтобы возросла производительность всей системы.

Тензорная методология является мощным инструментом для исследования характеристик сложных систем. Универсальность и общность описаний и рассуждений создает предпосылки для широкого применения методологии в современных условиях.

Представленный подход использования тензорной методологии для описания системы управления предприятием позволяет в полной мере описать систему и происходящие в ней процессы.

Использование средств автоматизации дает возможность значительно упростить рутинные операции вычисления параметров, учитывая тот факт, что система имеет сложную структуру с большим количеством элементов.

Библиографические ссылки

1. Крон Г. Тензорный анализ сетей : пер. с англ. М. : Сов. радио, 1978.

2. Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика : пер. с англ. М. : Наука, 1972.

3. Петров М. Н. Вероятностно-временные характеристики в сетях и системах передачи интегральной информации / Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 1997.

4. Веревкина Е. В., Корякина О. А., Петров М. Н. Тензорная методология исследования нагрузки в информационных сетях / НИИ систем управления волновых процессов и технологий (СУВПТ). Красноярск, 2004.

5. Петров М. Н., Треногин Н. Г. Распределенные информационные системы управления в телекоммуникационной отрасли / НИИ СУВПТ. Красноярск, 2006.

6. Треногин Н. Г. Внедрение инновационных решений в деятельности ИТ-подразделений телекоммуникационных компаний. Красноярск : Поликом, 2006.

7. Веревкина Е. В., Гуревич Д. М., Петров М. Н. Тензорная методология исследования бизнес-процессов / НИИ СУВПТ. Красноярск, 2005.

N. G. Trenogin, E. A. Velovatiy, M. N. Petrov

DESCRIPTION OF TECHNICAL ARCHITECTURE OF ERP-SYSTEM OF «SIBIRTELECOM» WITH THE USE OF TENSOR METHODOLOGY OF SYSTEM ANALYSIS

The authors consider the problems of application of tensor analysis for description of architecture of management in enterprises of telecommunication branch.

Keywords: management, telecommunications, architecture, enterprise.

© Треногин Н. Г., Веловатый Е. А., Петров М. Н., 2011

УДК 519.6

Г. И. Щепановская

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ВЯЗКОГО ТЕПЛОПРОВОДНОГО ГАЗА*

Предлагается алгоритм численного решения модифицированных уравнений Навье–Стокса для одномерного движения вязкого теплопроводного газа. Проведены тестовые расчеты. Реализована задача о распространении теплового импульса в газе. Апробированная компьютерная модель используется для изучения одномерных геодинамических процессов.

Ключевые слова: уравнения Навье–Стокса, вязкий теплопроводный газ, численное моделирование, метод траекторий, метод конечных элементов.

Система нестационарных одномерных уравнений Навье–Стокса для вязкого теплопроводного газа включает три дифференциальных уравнения в частных производных, вытекающих из законов сохранения массы, количества движения и внутренней энергии газа. Предложенная в работе замена искомых функций в уравнениях неразрывности и внутренней энергии переводит закон сохранения массы и полной энергии из нормы пространства L_1 в норму гильбертова пространства L_2. Впоследствии это значительно упрощает обоснование устойчивости и сходимости [1]. Дискретизация по пространству модифицированных уравнений Навье–Стокса осуществляется методом конечных элементов.

Для аппроксимации полной производной по времени каждого уравнения системы используется метод траекторий, который заключается в аппроксимации субстанциональной производной с помощью разностной производной назад по времени вдоль траектории движения частицы. Метод траекторий впервые появился в работах французских и американских ученых для аппроксимации уравнений Навье–Стокса для вязкой несжимаемой жидкости с первым порядком аппроксимации. Наибольшее теоретическое и практическое развитие метод получил для одного уравнения переноса массы [2]. Для решения систем алгебраических уравнений используется многосеточный метод с внешними итерациями по нелинейности.

Модификация уравнений Навье–Стокса обеспечивает повышение точности приближенного решения. Как следует из тестовых расчетов, абсолютная погрешность приближенного решения уменьшается в разы по сравнению с аналогичной погрешностью для немодифицированных уравнений, при этом разностная схема остается первого порядка. Применение комбинации метода траекторий и метода конечных элементов позволяет построить экономичный алгоритм с вычислительной точки зрения.

Математическая модель. Выпишем дифференциальные уравнения одномерного вязкого теплопроводного газа в виде безразмерных уравнений неразрывности, количества движения и уравнения для внутренней энергии:

$$\frac{d\rho}{dt}+\rho\frac{\partial u}{\partial x}=0, \tag{1}$$

$$\rho\frac{du}{dt}=-\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}, \tag{2}$$

$$\rho\frac{de}{dt}+P\frac{\partial u}{\partial x}=Q_t-\frac{\partial q_x}{\partial x}+\Phi, \tag{3}$$

$$P=P(\rho,e),\ \ \mu=\mu(\rho,e), \tag{4}$$

где ρ – плотность; u – проекция вектора скорости на ось x; P – давление; μ – динамический коэффициент вязкости; e – внутренняя энергия; Q – внешний поток тепла от внешних источников; тензор напряжений τ_{xx}, проекция теплового потока q_x и диссипативная функция Φ выражаются следующим образом:

$$\tau_{xx}=\frac{4}{3}\frac{1}{\mathrm{Re}}\mu\frac{\partial u}{\partial x},\quad q_x=-\frac{\gamma}{\mathrm{Pr}\,\mathrm{Re}}\mu\frac{\partial e}{\partial x},$$
$$\Phi=\frac{4}{3}\frac{1}{\mathrm{Re}}\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2, \tag{5}$$

где Re – число Рейнольдса, Pr – число Прандтля, $\gamma=1,4$.

Редукция уравнений. Преобразуем уравнения (1) и (3) к новому виду. Для этого, учитывая неотрицательность плотности и внутренней энергии, введем следующие функции:

$$\rho=\sigma^2, \tag{6}$$

$$e=\varepsilon^2. \tag{7}$$

Подставим (6) в уравнение неразрывности (1) и получим

$$\frac{d(\sigma^2)}{dt}+\sigma^2\frac{\partial u}{\partial x}=0. \tag{8}$$

Дифференцируя по t, имеем

$$2\sigma\frac{d\sigma}{dt}+\sigma^2\frac{\partial u}{\partial x}=0.$$

Далее, сокращая последнее уравнение на 2σ, получим

$$\frac{d\sigma}{dt}+\frac{1}{2}\sigma\frac{\partial u}{\partial x}=0. \tag{9}$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-01-00224), проект № 89 СО РАН.

Проделаем аналогичную процедуру для уравнения внутренней энергии (3), т. е. преобразуем уравнение (3) к новому виду с учетом (7). Для этого подставим выражение (7) в (3), в результате получим

$$\rho\frac{d(\varepsilon^2)}{dt}+\frac{\partial q_x}{\partial x}=\frac{\partial Q}{\partial t}-P\frac{\partial u}{\partial x}+\Phi. \qquad (10)$$

Преобразуем (10) следующим образом:

$$\rho 2\varepsilon\frac{d\varepsilon}{dt}+\frac{\partial q_x}{\partial x}=\frac{\partial Q}{\partial t}-P\frac{\partial u}{\partial x}+\Phi. \qquad (11)$$

Далее сократим последнее уравнение на 2ε и получим

$$\rho\frac{d\varepsilon}{dt}+\frac{1}{2\varepsilon}\frac{\partial q_x}{\partial x}=\frac{1}{2\varepsilon}\frac{\partial Q}{\partial t}-\frac{P}{2\varepsilon}\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{1}{2\varepsilon}\Phi. \qquad (12)$$

Подставим (7) в выражение для теплового потока q_x из (5) и возьмем производную по x, получим

$$q_x=-\frac{2\gamma}{\mathrm{PrRe}}\mu\varepsilon\frac{\partial\varepsilon}{\partial x},$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial x}=-\frac{2\gamma}{\mathrm{PrRe}}\left(\mu\left(\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right)^2+\varepsilon\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right)\right). \qquad (13)$$

С учетом (13) и выражения для диссипативной функции Φ из (5) уравнение (12) примет вид

$$\rho\frac{d\varepsilon}{dt}-\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}\left[\frac{\mu}{\varepsilon}\left(\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right)^2+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right)\right]=$$
$$=\frac{1}{2\varepsilon}Q_t-\frac{P}{2\varepsilon}\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{2}{3\mathrm{Re}}\frac{\mu}{\varepsilon}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2. \qquad (14)$$

Замечание. Обратим внимание на появившиеся множители μ/ε и P/ε в уравнении (14), которые, как показывают расчеты, являются естественными «регуляризаторами». Например, для совершенного газа уравнение состояния (4) запишется как

$$P=\rho(\gamma-1)e \quad \text{или} \quad P=\sigma^2(\gamma-1)\varepsilon^2. \qquad (15)$$

Поскольку внутренняя энергия всегда положительна и больше единицы по отношению к ее величине на бесконечности, то множитель $1/\varepsilon$ «гасит» растущее как ε^2 давление. Аналогичны рассуждения относительно μ/ε. Для совершенного газа, как следует из формулы Сазерленда, динамический коэффициент вязкости является степенной функцией от внутренней энергии.

Будем решать систему уравнений, преобразованную к следующему виду:

$$\frac{d\sigma}{dt}+\frac{1}{2}\sigma\frac{\partial u}{\partial x}=0, \qquad (16)$$

$$\rho\frac{du}{dt}=-\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{xx}}{\partial x}, \qquad (17)$$

$$\rho\frac{d\varepsilon}{dt}-\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}\left[\frac{\mu}{\varepsilon}\left(\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right)^2+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial\varepsilon}{\partial x}\right)\right]=$$
$$=\frac{1}{2\varepsilon}Q_t-\frac{P}{2\varepsilon}\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{2}{3\mathrm{Re}}\frac{\mu}{\varepsilon}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2. \qquad (18)$$

Замыкают систему уравнений (16)–(18) алгебраические соотношения для давления и динамического коэффициента вязкости совершенного газа

$$P=P(\sigma,\varepsilon), \quad \mu=\mu(\sigma,\varepsilon). \qquad (19)$$

Дискретизация. В качестве расчетной области возьмем единичный отрезок $\overline{\Omega}=[0,1]$ с границей Γ, состоящей из концов отрезка. Введем равномерную сетку $x_i=ih,\ i=0,1,...,n$ с шагом $h=1/n\,(n\geq 2)$.

Обозначим множество узлов области $\overline{\Omega}$:

$$\overline{\Omega}_h=\{S_i=(x_i),\ \ i=0,1,...,n\},$$

введем множество внутренних узлов

$$\Omega_h=\{S_i=(x_i),\ \ i=1,...,n-1\}$$

и два граничных узла

$$\Gamma_h=\{S_i=(x_i),\ \ i=0,n\}.$$

В результате расчетная область $\overline{\Omega}$ разбилась на n интервалов.

Для каждого узла $S_i\in\overline{\Omega}_h$ введем базисную функцию $\varphi_i(x)$:

$$\varphi_i(x)=\begin{cases}\left(1-|x_i-x|\right), & x\in[x_{i-1},x_{i+1}],\\ 0, & x\in(x_{i-1},x_{i+1}),\end{cases} \qquad (20)$$

которая равна единице в S_i и равна нулю во всех остальных узлах $\overline{\Omega}$.

Будем искать приближенное решение в виде

$$\sigma^h(t,x)=\sum_{i=0}^{n}\sigma_i(t)\varphi_i(x), \qquad (21)$$

$$u^h(t,x)=\sum_{i=0}^{n}u_i(t)\varphi_i(x), \qquad (22)$$

$$\varepsilon^h(t,x)=\sum_{i=0}^{n}\varepsilon_i(t)\varphi_i(x). \qquad (23)$$

После дискретизации по пространству уравнения (16) получаем дискретный аналог уравнения неразрывности:

$$\frac{d\sigma_l}{dt}+\frac{1}{4h}\sigma_l(u_{l+1}-u_{l-1})=0,$$
$$l=1,...,n-1. \qquad (24)$$

Дискретный аналог уравнения количества движения (17) принимает следующий вид:

$$\rho_l\frac{du_l}{dt}+\frac{2}{3h^2}\frac{1}{\mathrm{Re}}((u_l-u_{l-1})(\mu_{l-1}+\mu_l)-$$
$$-(u_{l+1}-u_l)(\mu_l+\mu_{l+1}))=$$
$$=\frac{1}{2h}(P_{l-1}-P_{l+1}), \qquad l=1,...,n-1. \qquad (25)$$

По аналогии с предыдущим уравнением выпишем дискретный аналог уравнения энергии (18) в следующем виде:

$$\rho_l \frac{d\varepsilon_l}{dt} - \frac{1}{2h^2}\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}\frac{\mu_l}{\varepsilon_l}((\varepsilon_{l+1}-\varepsilon_l)^2+(\varepsilon_l-\varepsilon_{l-1})^2)+$$
$$+\frac{1}{2h^2}\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}((\varepsilon_l-\varepsilon_{l-1})(\mu_{l-1}+\mu_l)-(\varepsilon_{l+1}-\varepsilon_l)(\mu_l+\mu_{l+1}))=$$
$$-\frac{1}{4h}\frac{P_l}{\varepsilon_l}(u_{l+1}-u_{l-1})+\frac{1}{3h^2}\frac{1}{\mathrm{Re}}\frac{\mu_l}{\varepsilon_l}((u_{l+1}-u_l)^2+(u_l-u_{l-1})^2),$$
$$l=1,\dots,n-1. \qquad (26)$$

Метод траекторий. Введем равномерную сетку по времени с шагом $\tau = t_{\mathrm{fin}}/m$:

$$\overline{\omega}_\tau = \{t_k : t_k = k\tau, \qquad k=0,\dots,m\}.$$

Производную по времени (субстанциональная) в уравнении (24) аппроксимируем с помощью разностной производной назад по времени вдоль траектории движения частицы следующим образом [2]:

$$\frac{d\sigma_l}{dt} \approx \frac{\sigma^{k+1}(x_l)-\sigma^k(X_l^k)}{\tau}, \qquad (27)$$

где X_l^k – решение при $t^* = k\tau$ уравнения

$$\frac{dX}{dt^*} = u(t^*, X), \qquad X((k+1)\tau) = x_l. \qquad (28)$$

Для численного решения уравнения (28) применим метод Эйлера, вычисление производится с $(k+1)$-го шага назад по времени. Полагая, что частица в промежутке времени (t_k, t_{k+1}) движется равномерно, получаем

$$X_l^k = x_l - u(t^*, x_l)\tau. \qquad (29)$$

Обозначим $u(t^*, x_l) = u_l^k$. Значение $\sigma^k(X_l^k)$ определяется путем линейной интерполяции.

При $u_l^k > 0$

$$\sigma^k(X_l^k) = \sigma^k(x_l) + (X_l^k - x_l)\frac{\sigma^k(x_l)-\sigma^k(x_{l-1})}{x_l - x_{l-1}}. \qquad (30)$$

При $u_l^k < 0$

$$\sigma^k(X_l^k) = \sigma^k(x_l) + (X_l^k - x_l)\frac{\sigma^k(x_{l+1})-\sigma^k(x_l)}{x_{l+1} - x_l}. \qquad (31)$$

Производную по времени в уравнениях (25) и (26) аппроксимируем аналогично разностной производной (27), в результате получим

$$\rho_l \frac{du_l}{dt} \approx \rho_l^{k+1}\frac{u^{k+1}(x_l)-u^k(X_l^k)}{\tau}, \qquad (32)$$

$$\rho_l \frac{d\varepsilon_l}{dt} \approx \rho_l^{k+1}\frac{\varepsilon^{k+1}(x_l)-\varepsilon^k(X_l^k)}{\tau}. \qquad (33)$$

Значения $u^k(X_l^k)$ и $\varepsilon^k(X_l^k)$ вычисляются путем линейной интерполяции, аналогично $\sigma^k(X_l^k)$.

Системы алгебраических уравнений. После аппроксимации производной по времени в дискретных аналогах (24)–(26) получаем системы квазилинейных алгебраических уравнений. С учетом обозначений $\sigma^{k+1}(x_l) = \sigma_l^{k+1}$, $u^{k+1}(x_l) = u_l^{k+1}$ и $\varepsilon^{k+1}(x_l) = \varepsilon_l^{k+1}$ выпишем каждую систему.

Для уравнения переноса массы система алгебраических уравнений относительно неизвестных σ^{k+1} имеет вид

$$\left(\frac{h}{\tau}+\frac{1}{4}(u_{l+1}^k - u_{l-1}^k)\right)\sigma_l^{k+1} = \frac{h}{\tau}\sigma^k(X_l^k),$$
$$l=1,\dots,n-1. \qquad (34)$$

Для уравнения количества движения система алгебраических уравнений относительно неизвестных в узлах разбиения u^{k+1} имеет вид

$$\left[-\frac{2}{3h^2}\frac{1}{\mathrm{Re}}(\mu_{l-1}^k+\mu_l^k)\right]u_{l-1}^{k+1}+$$
$$+\left[\frac{\rho_l^{k+1}}{\tau}+\frac{2}{3h^2}\frac{1}{\mathrm{Re}}(\mu_{l-1}^k+2\mu_l^k+\mu_{l+1}^k)\right]u_l^{k+1}+$$
$$+\left[-\frac{2}{3h^2}\frac{1}{\mathrm{Re}}(\mu_l^k+\mu_{l+1}^k)\right]u_{l+1}^{k+1}= \qquad (35)$$
$$=\frac{\rho_l^{k+1}}{\tau}u^k(X_l^k)+\frac{1}{2h}(P_{l-1}^k - P_{l+1}^k), \qquad l=1,\dots,n-1.$$

Система квазилинейных алгебраических уравнений, соответствующая уравнению внутренней энергии, выглядит следующим образом:

$$\left[\frac{1}{2h^2}\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}\frac{\mu_l^k}{\varepsilon_l^k}(\varepsilon_l^k-\varepsilon_{l-1}^k)-\frac{1}{2h^2}\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}(\mu_{l-1}^k+\mu_l^k)\right]\varepsilon_{l-1}^{k+1}+$$
$$+\left[\frac{\rho_l^{k+1}}{\tau}-\frac{1}{2h^2}\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}\frac{\mu_l^k}{\varepsilon_l^k}(2\varepsilon_l^k-\varepsilon_{l+1}^k-\varepsilon_{l-1}^k)+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{2h^2}\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}(2\mu_l^k+\mu_{l+1}^k+\mu_{l-1}^k)\right]\varepsilon_l^{k+1}+ \qquad (36)$$
$$+\left[-\frac{1}{2h^2}\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}\frac{\mu_l^k}{\varepsilon_l^k}(\varepsilon_{l+1}^k-\varepsilon_l^k)-\frac{1}{2h^2}\frac{\gamma}{\mathrm{PrRe}}(\mu_l^k+\mu_{l+1}^k)\right]\varepsilon_{l+1}^{k+1}=$$
$$=\frac{\rho_l^{k+1}}{\tau}\varepsilon^k(X_l^k)-\frac{1}{4h}\frac{P_l^k}{\varepsilon_l^k}(u_{l+1}^{k+1}-u_{l-1}^{k+1})+$$
$$+\frac{1}{3h^2}\frac{1}{\mathrm{Re}}\frac{\mu_l^k}{\varepsilon_l^k}[(u_{l+1}^{k+1}-u_l^{k+1})^2+(u_l^{k+1}-u_{l-1}^{k+1})^2],$$
$$l=1,\dots,n-1.$$

Таким образом, получена консервативная вариационно-разностная схема первого порядка аппроксимации.

Для решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей используется метод немонотонной прогонки, который отличается высокой вычислительной устойчивостью [3].

Тестовые расчеты. Для тестирования полученной математической модели функции u, σ, ε задаются следующим явным образом:

$$u(x,t) = x(x-1)^2 t,$$

$$\sigma(x,t) = x(x-1)^2\, t + 1, \qquad (37)$$
$$\varepsilon(x,t) = x(x-1)^2\, t + 1.$$

При подстановке функций (37) в исходные уравнения и модифицированные уравнения получаются соответственно правые части f_ρ, f_σ, f_u, f_e и f_ε, которые учитываются в системах уравнений при их численном решении. Нормы погрешности в пространстве L_2 и L_∞ определяются следующим образом:

$$\|\delta a\|_{2,h} = \left(\int (\delta a)^2\, dx\right)^{\frac{1}{2}},$$
$$\delta a = \left|a_i^* - a_i^h\right|,$$
$$\int (\delta a)^2\, dx = \frac{h}{2}\left(\left|a_0^* - a_0^h\right|^2 + \left|a_n^* - a_n^h\right|^2\right) + h\sum_{i=1}^{n-1}\left|a_i^* - a_i^h\right|^2,$$
$$\|\delta a\|_{\infty,h} = \max_i \left|a_i^* - a_i^h\right|.$$

Для $\|\delta\sigma\|_{\infty,h}$ и $\|\delta\rho\|_{\infty,h}$ можно получить соотношение

$$\|\delta\rho\|_{\infty,h} = \|\delta\sigma\|_{\infty,h} \max_i \left|\sigma_i^* + \sigma_i^h\right|.$$

Норму $\|\delta\rho\|_{2,h}$ можно выразить через $\|\delta\sigma_i\|_{\infty,h}$ следующим образом:

$$\|\delta\rho\|_{2,h} = \left(\frac{h}{2}\left(\|\delta\rho\|^2_{\infty,h} + \|\delta\rho_n\|^2_{\infty,h}\right) + h\sum_{i=1}^{n-1}\|\delta\rho_i\|^2_{\infty,h}\right)^{\frac{1}{2}},$$

$$\|\delta\rho\|_{2,h} = \left(\frac{h}{2}\left[\left(\|\delta\sigma_0\|_{\infty,h}\left|\sigma_0^* + \sigma_0^h\right|\right)^2 + \left(\|\delta\sigma_n\|_{\infty,h}\left|\sigma_n^* + \sigma_n^h\right|\right)^2\right] + h\sum_{i=1}^{n-1}\left(\|\delta\sigma_i\|_{\infty,h}\left|\sigma_i^* + \sigma_i^h\right|\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Нормы погрешностей в табл. 1 и 2 приведены для шага по времени $\tau = 0{,}000\,1$ в момент времени $t = k\tau$ $(k = 1\,000)$.

Задача о распространении теплового импульса. При решении модельной задачи тепловой импульс задается в окрестности центра расчетной области, газодинамическая постоянная γ, число Рейнольдса Re, число Прандтля Pr, число Маха M_∞ и ω имеют следующие значения: $\gamma = 1{,}4$, $\mathrm{Re} = 2\cdot 10^3$, $\mathrm{Pr} = 0{,}7$, $\mathrm{M}_\infty = 4$, $\omega = 0{,}8$ [4–6]. Температура T определяется из следующего уравнения состояния:

$$T = \frac{\gamma \mathrm{M}_\infty^2 P}{\rho}. \qquad (38$$

В качестве начальных условий задаются условия затухания возмущений в бесконечном удалении от источника. Условия на границе для плотности, скорости и энергии следующие: $\rho|_{x=0} = \rho|_{x=1} = 1$, $u|_{x=0} = u|_{x=1} = 0$, $e|_{x=0} = e|_{x=1} = 1$).

Графики распределения плотности, температуры, скорости и давления газа при $h = 0{,}002\,(n = 500)$, $\tau = 0{,}000\,1$ представлены на рис. 1–4. Кривые, обозначенные на рисунках как 1, 2, 3, 4, соответствуют расчетным моментам безразмерного времени $t = 0{,}01;\ 0{,}05;\ 0{,}1;\ 0{,}2$.

Таблица 1

h	0,05	0,04	0,025	0,02	0,0125	0,01
$\|\delta\sigma\|_{2,h}$	0,000 044 1	0,000 031 9	0,000 016 1	0,000 011 7	0,000 006 1	0,000 004 6
$\|\delta\rho\|_{2,h}$	0,000 088 2	0,000 063 7	0,000 032 1	0,000 023 3	0,000 012 2	0,000 009 2
$\|\delta\varepsilon\|_{2,h}$	0,000 033 8	0,000 027 8	0,000 019 6	0,000 017 2	0,000 014 2	0,000 013 3
$\|\delta e\|_{2,h}$	0,000 067 2	0,000 055 1	0,000 038 8	0,000 034 1	0,000 028 0	0,000 026 4
$\|\delta u\|_{2,h}$	0,000 145 0	0,000 106 5	0,000 057 5	0,000 044 1	0,000 027 5	0,000 023 0

Таблица 2

h	0,05	0,04	0,025	0,02	0,0125	0,01
$\|\delta\sigma\|_{\infty,h}$	0,000 248 2	0,000 200 6	0,000 128 2	0,000 103 8	0,000 067 0	0,000 054 6
$\|\delta\rho\|_{\infty,h}$	0,000 495 9	0,000 400 7	0,000 256 0	0,000 207 3	0,000 133 8	0,000 109 1
$\|\delta\varepsilon\|_{\infty,h}$	0,000 211 9	0,000 192 9	0,000 164 1	0,000 154 4	0,000 139 7	0,000 134 8
$\|\delta e\|_{\infty,h}$	0,000 420 6	0,000 382 6	0,000 324 9	0,000 305 4	0,000 276 0	0,000 266 2
$\|\delta u\|_{\infty,h}$	0,000 839 1	0,000 692 0	0,000 469 2	0,000 394 5	0,000 281 9	0,000 244 2

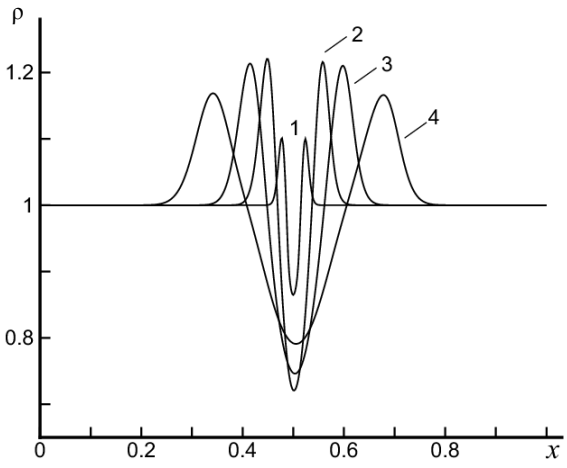


Рис. 1

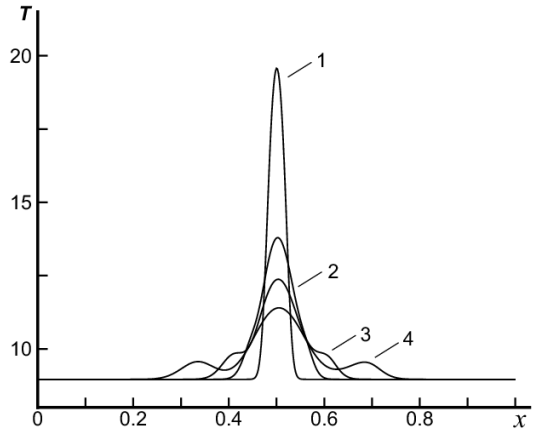


Рис. 2

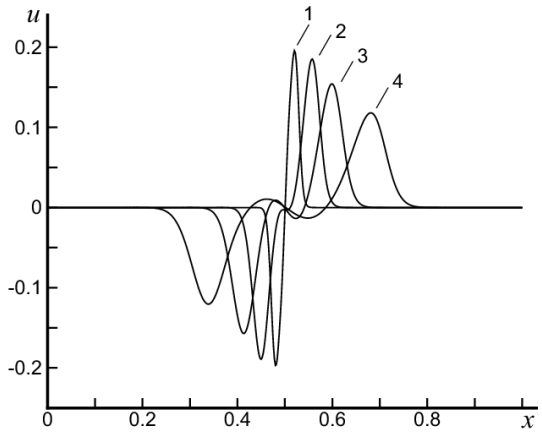


Рис. 3

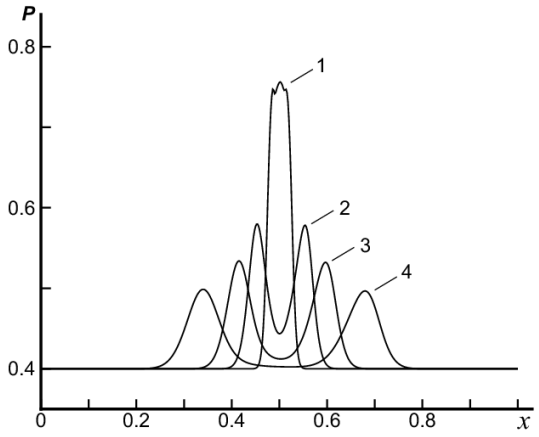


Рис. 4

В заключение следует отметить, что полученные системы уравнений удовлетворяют законам сохранения массы и полной энергии на дискретном уровне, обеспечивая устойчивость дискретного решения по времени. Замена искомых функций в уравнениях неразрывности и внутренней энергии обеспечивает повышение точности приближенного решения и приводит к меньшей абсолютной погрешности в норме L_2 и L_∞. Применение комбинации метода траекторий и метода конечных элементов не требует согласования триангуляций на соседних временных слоях, что значительно облегчает динамическое разрежение или сгущение триангуляций по времени для оптимизации вычислительной работы или улучшения аппроксимации в пограничных слоях и ударных волнах. Для решения систем алгебраических уравнений используется многосеточный метод с внешними итерациями по нелинейности. Совокупность методов позволяет построить экономичный алгоритм с вычислительной точки зрения.

Библиографические ссылки

1. Ушакова О. А., Шайдуров В. В, Щепановская Г. И. Метод конечных элементов для уравнений Навье–Стокса в сферической системе координат // Вестник КрасГУ. 2006. № 4. С. 151–156.

2. Pironneau O. On the Transport-Diffusion Algorithm and Its Applications to the Navier-Stokes Equations // Numerische Mathematik. 1982. № 38. P. 309–332.

3. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. М. : Наука, 1978.

4. Шайдуров В. В., Щепановская Г. И., Якубович М. В. Одномерная модель динамики вязкого теплопроводного газа // Материалы XIV Междунар. науч. конф. «Решетневские чтения». Красноярск, 2010. С. 440–441.

5. Шайдуров В. В, Щепановская Г. И. Газодинамическая модель внутреннего строения Земли // Вестник СибГАУ. 2008. № 1. 79–83.

6. Vyatkin A. V., Shaidurov V. V., Shchepanovskaya G. I. Numerical Spherically-Symmetric Simulation of Deep-Seated Geodynamics // J. of Applied and Industrial Mathematics. 2010. Vol. 4. № 2. P. 290–297.

7. Шайдуров В. В., Щепановская Г. И., Якубович М. В. Применение метода траекторий и метода конечных элементов в моделировании движения вязкого теплопроводного газа // Вычислит. методы и программирование. 2011. Т. 12. С. 275–281.

G. I. Shchepanovskaya

MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELLING OF CURRENTS OF VISCOUS THERMALLY CONDUCTIVE GAS

In the work the author offers an algorithm of the numerical decision of the modified equations of Nave-Stoksa for one-dimensional movement of viscous thermally conductive gas. Test calculations are carried out. The task of distribution of a thermal impulse in gas is realized. The approved computer model is used for studying of one-dimensional geodynamic processes.

Keywords: equations of Nave-Stoksa, viscous thermally conductive gas, numerical modeling, a method of trajectories, a method of final elements.

© Щепановская Г. И., 2011

Раздел
2

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.45.015: 629.784

И. Н. Боровик

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК КИСЛОРОДНО-ВОДОРОДНОЙ ЖИДКОСТНОЙ РАКЕТНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ МЕЖОРБИТАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО АППАРАТА

Описываются результаты разработки технического облика безгенераторной кислородно-водородной жидкостной ракетной двигательной установки (ЖРДУ) межорбитального транспортного аппарата (МТА) одноразового использования с помощью математической модели многокритериальной оптимизации проектных параметров. В качестве критериев оптимизации выбраны максимальная масса полезного груза и минимальная удельная стоимость выведения полезного груза на целевую орбиту. Приведен расчет оптимальных проектных параметров ЖРДУ МТА для четырех задач выведения, определенных характеристическими скоростями межорбитального перехода: 2 500, 3 500, 4 800 и 7 000 м/с. По полученным оптимальным проектным параметрам рассчитаны проектные параметры агрегатов питания ЖРДУ и построен технический облик.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель, технический облик, оптимизация.

Для выведения полезных грузов на различные орбиты используют межорбитальные транспортные аппараты с жидкостными ракетными двигателями (ЖРД) или разгонные блоки (РБ). В традиционной практике ракетно-космического двигателестроения проектирование основывается на свойствах ЖРД как тепловой машины. Однако для полного удовлетворения основной задачи МТА – выведению полезного груза на целевую орбиту с высокой эффективностью – такой подход недостаточен. Это объясняется тем, что, во-первых, ЖРДУ для МТА является прежде всего исполнительным органом системы управления, а во-вторых, ЖРДУ представляет собой сложный бортовой комплекс, тесно взаимодействующий с подсистемами МТА и несущий основную нагрузку по достижению цели МТА. Для обеспечения высокой эффективности МТА необходимо, чтобы проектные параметры ЖРДУ были оптимизированы по критериям эффективности всего МТА.

ЖРДУ представляет собой сложную техническую систему, входящую в состав системы более высокого уровня – МТА. Для разработки оптимальной ЖРДУ на основе методологии системного проектирования осуществляется выбор оптимального технического облика и проектных параметров ЖРДУ. Решение сложной задачи проектирования ЖРДУ МТА при этом представляется в виде иерархии частных задач, связанных между собой исходными данными, критериями оптимизации и математическими моделями. Судить о том, насколько оптимальны схемное решение и выбранные параметры ЖРДУ, можно только по приобретенной вследствие этого эффективности всей системы «летательный аппарат – двигательная установка» или в нашем случае, «МТА–ЖРДУ».

Для реализации полученного подхода к проектированию разработана комплексная математическая модель (КММ) определения оптимальных проектных параметров ЖРДУ МТА по различным критериям. Структура модели и использованные в ней математические модели подробно описаны в [1–4]. Подобные КММ ранее были созданы и широко применялись для формирования технического облика ЖРДУ одноразовых МТА [5–7], но в них не учитывалась стоимость разработки и изготовления МТА, а также не формировался технический облик пневмогидросистемы ЖРДУ и ее элементов, позволяющий оценить выполнимость заявленных требований к ЖРДУ в целом. Ранее в математических моделях формирования технического облика ЖРДУ МТА оптимизация по критериям экономической эффективности представляла большие трудности ввиду недостатка статистики, ограниченности моделей стоимости и секретности данных о затратах. Поэтому наиболее употребимым был критерий массового совершенства МТА – максимальная масса выводимого полезного груза. В настоящее время стоимостные модели стали более широко представленными и значительно более точными [8–10]. В разработанной модели все вышеперечисленные недостатки устранены.

Проектирование ЖРДУ – это итерационный процесс, связанный с последовательным улучшением системы, принятием конструктивных решений. Каждый цикл включает в себя анализ эффективности изделия, влияния на него характеристик подсистем и ограничений. Оптимальные проектные параметры ЖРДУ МТА соответствуют экстремуму критериальной функции. С помощью достаточно простых приближенных итерационных методов можно найти экстремум данной функции. Однако применение итерационных математических методов последовательного улучшения систем не всегда удобно, так как они обладают рядом недостатков. Не всегда критериальная функция дифференцируема по всем переменным, а, следовательно, и найти глобальный экстремум не представляется возможным. Инженерные задачи оптимизации по своему существу многокритериальны и природа их такова, что с улучшением одних критериев качества другие ухудшаются. Поэтому помимо математических моделей, позволяющих рассчитывать проектные параметры МТА, ЖРДУ и ее элементов, в разработанной модели используется эффективный метод оптимизации – метод исследования простран-

ства параметров (метод ИПП) [11], позволяющий найти надежные варианты технических решений проектов МТА, обеспечивающие его функционирование с наилучшим качеством. Метод ИПП основан на построении и анализе допустимого множества решений с помощью таблиц с результатами расчета величин выбранных критериев.

Для исследования возможностей параметрической оптимизации ЖРДУ МТА с помощью разработанной математической модели и анализа результатов, полученных с ее помощью, были найдены оптимальные проектные параметры ЖРДУ для МТА, выводящего полезный груз на различные орбиты. Целью данного исследования являлось не только определение собственно технического облика ЖРДУ, но и анализ проектных параметров агрегатов ее пневмогидросистемы. Был проведен анализ преимуществ использования выдвижного соплового насадка с увеличенным диаметром выходного сечения сопла. В качестве объекта исследования был выбран безгенераторный кислородно-водородный ЖРД как наиболее перспективный для использования в тяжелых МТА. Полученные результаты сравнивались с результатами выполнения аналогичных задач в тех же условиях перспективным кислородно-водородным блоком КВТК со штатным двигателем РД-0146, используемым на РН «Ангара». Для этого проектная математическая модель была модифицирована в имитационную математическую модель для анализа реальной ЖРДУ – РД-0146. Характеристики РД-0146 были взяты из [11].

Выбранные орбиты соответствовали наиболее часто решаемым задачам выведения на современном этапе развития космонавтики. Это задачи, которым соответствуют характеристические скорости межорбитального перехода 2 500 м/с (переход с орбиты 200 км на орбиту 800 км), 3 500 м/с (переход с низкой околоземной орбиты (НОО) – 200 км на стандартную ГПО (высота апогея 35 870 км, высота перигея 5 500 км, наклонение плоскости орбиты 25°), 4 800 м/с (например, переход с НОО на ГСО) и 7 000 м/с (переход на отлетные траектории к другим планетам).

Исходными данными для выбора оптимальных основных проектных параметров безгенераторного кислородно-водородного ЖРДУ МТА однократного использования для решения различных задач выведения являлись:

– характеристическая скорость;

– наклонение плоскости орбиты 51,6°;

– высота начальной орбиты $h_{нач}$ = 200 км;

– начальная масса МТА на низкой орбите m_0 = 25 000 кг;

– максимальный диаметр среза сопла: d_a = 1,2 м и 2,2 м.

По полученным оптимальным основным проектным параметрам (см. таблицу) был сформирован технической облик безгенераторной кислородно-водородной ЖРДУ МТА (см. рисунок).

Анализ полученных данных показывает, что масса выводимого полезного груза на ГСО с помощью МТА с ЖРДУ, оптимизированной под выведение на ГСО, увеличивается на 11 % по сравнению с массой, выведенной с помощью РБ КВТК (с ЖРДУ на основе РД-0146), основной задачей которого также может считаться выведение КА на ГСО. Это становится возможным благодаря большей тяге оптимизированной ЖРДУ и более высокому рабочему соотношению компонентов топлива по сравнению с РД-0146, что позволяет снизить гравитационные потери при выведении и сухую массу МТА, несмотря на увеличенную при этом массу ЖРДУ.

Из полученных данных также видно, что использование соплового насадка с диаметром 2,2 м позволяет увеличить максимальную массу полезного груза в среднем на 8 % (в зависимости от выполняемой задачи выведения – в среднем на 150 кг) и снизить удельную стоимость выведения в среднем на 8,6 %. При использовании соплового насадка увеличивается масса ЖРДУ, стоимость изготовления и производства, причем чем более энергоемка задача выведения, тем выше стоимость разработки и производства МТА и ЖРДУ. Это связано в значительной мере с тем, что для испытаний ЖРДУ с большой степенью расширения потребуется использование специального дорогостоящего стендового оборудования для создания условий космического пространства. Увеличение стоимости разработки влечет за собой увеличение удельной стоимости выведения на целевую орбиту в случае учета в ней компенсации затрат на разработку. Поэтому увеличение степени расширения сопла для ЖРДУ МТА, выводящего полезный груз на низкие орбиты (определяемые характеристическими скоростями межорбитального перехода $\Delta V_{хар}$ = 2 500 и 3 500 м/с) нецелесообразно, так как удельная стоимость выведения такого ЖРД (с учетом стоимости разработки) будет даже выше, чем стоимость выведения ЖРД с соплом диаметром 1,2 м. Если же не учитывать затраты на разработку в удельной стоимости выведения, то уменьшение удельной стоимости составит 1 %, что меньше погрешности вычислений. Общая тенденция такова, что с увеличением энергоемкости задачи и удельной стоимости выведения применение соплового насадка становится более выгодным. Наибольший эффект снижения удельной стоимости выведения от использования соплового насадка с диаметром выходного сечения сопла 2,2 м и оптимизацией параметров приходится на ЖРДУ, оптимизированные для выведения полезных грузов на отлетные траектории ($\Delta V_{хар}$ = 7 000 м/с).

Оптимальным вариантом ЖРДУ МТА для всего спектра задач выведения является ЖРДУ, оптимизированная для выведения на ГСО, с диаметром выходного сечения сопла d_a = 2,2 м или в случае ограничения габаритов – с диаметром d_a = 1,2 м.

Для данного варианта были рассчитаны проектные параметры агрегатов пневмогидросистемы разработанной ЖРДУ (см. рисунок). По сравнению с двигателем РД-0146 в оптимизированном ЖРД более низкое число оборотов ротора ТНА водорода, но более высокий КПД турбины, благодаря большему расходу и меньшей доли потерь расхода на утечки, т. е. более высокому гидравлическому КПД.

Основные проектные параметры кислородно-водородной ЖРДУ, оптимизированной для решения различных задач выведения в составе МТА

Параметр	$\Delta V_{хар}$ = 2 500 м/с		$\Delta V_{хар}$ = 3 500 м/с		$\Delta V_{хар}$ = 4 800 м/с		$\Delta V_{хар}$ = 7 000 м/с		РД-0146 РБ КВТК
Ограничение по габаритам сопла	D_a = 1,2 м	D_a = 2,2 м	D_a = 1,2 м	D_a = 2,2 м	D_a = 1,2 м	D_a = 2,2 м	D_a = 1,2 м	D_a = 2,2 м	D_a = 1,26 м
Коэффициент избытка окислителя	0,74	0,746	0,745	0,757	0,751	0,795	0,802	0,829	0,743
Геометрическая степень расширения сопла	138	440	123	417	119	383	118	369	200
Давление в камере сгорания, Па	$76{,}2\cdot10^5$	$80{,}6\cdot10^5$	$77{,}4\cdot10^5$	$87{,}4\cdot10^5$	$81{,}5\cdot10^5$	$84\cdot10^5$	$76\cdot10^5$	$79\cdot10^5$	$80\cdot10^5$
Расход компонентов топлива, кг/с	27,2	30,6	31,28	34,64	33,9	36,68	32,4	36,2	21,6
Диаметр выходного сечения сопла, м	1,2	2,196	1,2	2,181	1,2	2,187	1,2	2,194	1.26
Пустотная тяга ЖРДУ, кН	122,5	140,5	140	159	152	167,7	144,5	165,3	98.1
Удельный импульс, м/с	4 497	4 590	4 483	4 587	4 479	4 573	4 457	4561	4 532
Огневой ресурс ЖРДУ в полете, с	398	347	438	388	490	446	617	546	–
Масса ЖРД, кг	284	388	302	414	314	419	309	417	282
Масса «сухого» МТА, кг	2 784	2 879	2 804	2 896	3 038	3 100	3 255	3334	3 330
Удельная стоимость выведения орбиту без учета стоимости разработки, долл./кг	7 751	7 655	10 531	10 342	16 778	16 259	54 962	50213	17 400
Удельная стоимость выведения на орбиту с учетом стоимости разработки, долл./кг	10 850	11 006	13 751	13 771	20 982	20 708	57 741	53187	19 860
Масса полезного груза, кг	11 446	11 553	8 313	8 464	5 185	5 335	1 577	1720	4 600
Стоимость разработки МТА, млн долл.	1 928	2 045	2 188	2 316	2 502	2 631	2 554	2695	1 972
Стоимость разработки ЖРД, млн долл.	669,8	791,8	757,8	893,1	857,1	1 001	843,1	996	615
Стоимость изготовления МТА, млн долл.	10,15	10,47	10,68	10,99	11,17	11,43	11,58	11,88	11,03
Стоимость изготовления ЖРД, млн долл.	2,241	2,618	2,347	2,708	2,403	2,746	2,373	2,74	2,06

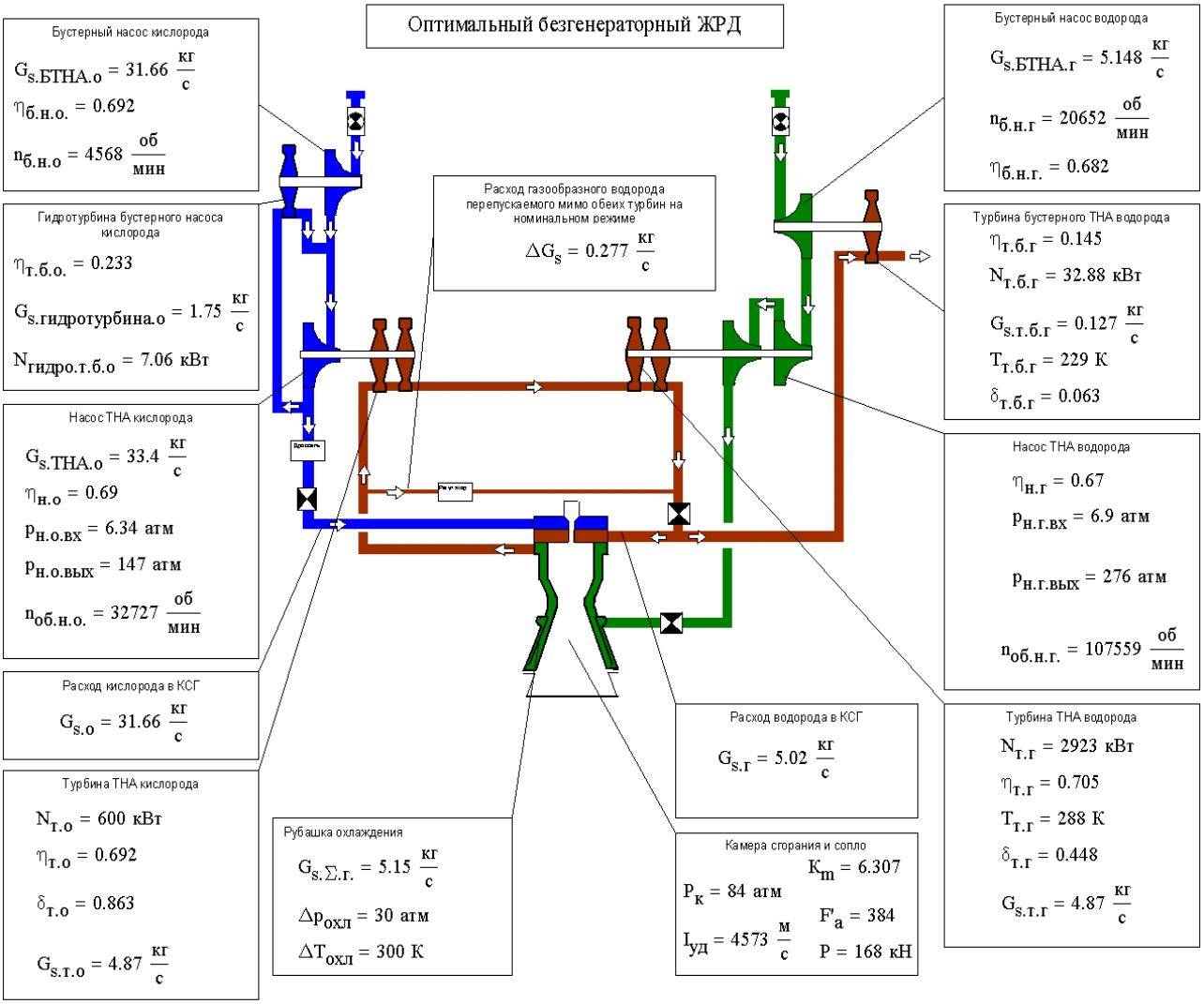


Рис. 1. Пневмогидросхема оптимизированной ЖРДУ с основными проектными параметрами агрегатов, рассчитанными с использованием разработанной математической модели (результат работы программы):
$G_{s.БТНА.о}$, $G_{s.БТНА.г}$ – расход окислителя и горючего в бустерный ТНА; $\eta_{б.н.о}$, $\eta_{б.н.г}$ – КПД бустерного насоса окислителя и горючего; $n_{б.н.о}$, $n_{б.н.г}$ – частота вращения ротора бустерного насоса горючего и окислителя; $\eta_{т.б.о}$, $\eta_{т.б.г}$ – КПД гидротурбины бустерного ТНА окислителя и газовой турбины бустерного ТНА горючего; $G_{s.гидротурбина.о}$ – расход окислителя на привод гидротурбины бустерного ТНА; $N_{гидро.т.б.о}$ – мощность гидротурбины бустерного ТНА окислителя; $G_{s.ТНА.о}$ – расход окислителя на выходе из насоса; $\eta_{н.о}$, $\eta_{н.г}$ – КПД насоса окислителя и горючего; $p_{н.о.вх}$, $p_{н.г.вх}$ – давление на входе в насос окислителя и горючего; $p_{н.о.вых}$, $p_{н.г.вых}$ – давление на выходе из насоса окислителя и горючего; $n_{об.н.о}$, $n_{об.н.г}$ – частота вращения ротора ТНА горючего и окислителя; $G_{s.о}$, $G_{s.г}$ – расход горючего и окислителя в камеру сгорания; $\eta_{т.о}$, $\eta_{т.г}$ – КПД турбины окислителя и горючего; $\delta_{т.о}$, $\delta_{т.г}$ – перепад давления на турбинах ТНА горючего и окислителя; $G_{s.т.о}$, $G_{s.т.г}$ – расход на привод турбины ТНА окислителя и горючего; $G_{s.\Sigma г}$ – расход горючего на охлаждение сопла; $\Delta p_{охл}$ – перепад давления горючего в рубашке охлаждения; $\Delta T_{охл}$ – перепад температуры горючего в рубашке охлаждения; $G_{s.т.б.г}$ – расход горючего на привод турбины бустерного ТНА; $N_{т.б.г}$ – мощность турбины бустерного ТНА горючего; K_m – соотношение компонентов топлива, поступающего в камеру сгорания; P – тяга двигателя; F'_a – геометрическая степень расширения сопла; $I_{уд}$ – удельный импульс двигателя; $P_к$ – давление в камере сгорания двигателя

Полученные проектные параметры агрегатов ПГС вполне реализуемы в реальной ЖРДУ, а значит, и создание ЖРДУ для МТА, функционирующего с максимальной эффективностью, вполне выполнимо.

Таким образом, произведен расчет и анализ оптимальных проектных параметров безгенераторной кислородно-водородной ЖРДУ МТА одноразового использования для двух ограничений по диаметру выходного сечения сопла – 1,2 и 2,2 м и для четырех задач выведения, соответствующих характеристическим скоростям межорбитального перехода 2 500, 3 500, 4 800 и 7 000 м/с.

Для максимизации массы полезного груза необходимо использовать ЖРДУ со следующими основными проектными параметрами.

В случае ограничения по диаметру выходного сечения сопла – 1,2 м):

– соотношение компонентов топлива $K_m = 5{,}96$;

– геометрическая степень расширения сопла $\overline{F} = 119$;

– давление в камере сгорания $p_к = 81{,}5 \cdot 10^5$ Па;

– пустотная тяга ЖРДУ $P_п = 152$ кН;

– удельный импульс $I_у = 4\,479$ м/с.

В случае ограничения по диаметру выходного сечения сопла – 2,2 м:

– соотношение компонентов топлива $K_m = 6{,}3$;

– геометрическая степень расширения сопла $\overline{F} = 383$;

– давление в камере сгорания $p_к = 84 \cdot 10^5$ Па;

– пустотная тяга ЖРДУ $P_п = 167{,}7$ кН;

– удельный импульс $I_у = 4\,573$ м/с.

ЖРДУ с такими проектными параметрами обладает максимальной эффективностью как по массе, так и по стоимости функционирования в составе МТА при решении им задач выведения полезных грузов на различные целевые орбиты.

Произведено сравнение основных проектных параметров оптимизированной ЖРДУ МТА со штатным маршевым ЖРД РБ КВТК РД-0146. Показано, что применение ЖРДУ с основными проектными параметрами, оптимизированными для выведения на ГСО, позволит увеличить массу выводимого полезного груза на 11 % и снизить стоимость выведения на 3,5 %.

Библиографические ссылки

1. Borovik I. N, Kozlov A. A. Determination method of optimum main design parameters of LOx-LH2 expander-cycle LRE for reusable OTV (orbital transfer vehicle) [Electronic resource] : rep. to the. 60th Intern. Astronautical Cong. Daejeon. 2009 // MAI. Dep. of the eiquid rocket engines. URL: http://www.mai202.ru/ publication/PDF/DETERMINATION%20METHOD%20OF%20OPTIMUM%20MAIN%20DESIGN%20PARAMETERS.pdf (date of visit: 10.11.2011).

2. Боровик И. Н. Математическая модель определения удельной стоимости выведения полезного груза на целевую орбиту с помощью разгонного блока многократного использования // Вестник МАИ. 2008. Т. 15. № 3. С. 44–50.

3. Козлов А. А. Выбор топлива, схемы и основных параметров жидкостной ракетной двигательной установки на ранних этапах проектирования : учеб. пособие. М. : Изд-во МАИ, 1997.

4. Боровик И. Н., Козлов А. А. Математическая модель оценки массовых характеристик кислородно-водородного безгенераторного ЖРД по его основным проектным параметрам [Электронный ресурс] // Тр. МАИ. 2008. № 32. URL: http://www.mail.ru/science/trudy/published.pdp?ID=7468 (дата обращения: 10.11.2011).

5. Сафранович В. Ф., Эмдин Л. М. Маршевые двигатели космических аппаратов. Выбор типа и параметров. М. : Машиностроение, 1980.

6. Dunn B. P. High-Energy Orbit Refueling for Orbital Transfer Vehicles // AIAA J. Spacecraft and Rockets. 1987. Vol. 24. № 6. P. 518–522.

7. Galabova K. Architecting a Family of Space Tugs Based on Orbital Transfer Mission Scenarios : MS Thesis / Dep. of Aeronautics and Astronautics, MIT. Cambridge, MA, 2004.

8. Koelle D. E. Handbook of cost engineering for space transportation systems. Revision 2. With TransCost 7.2 Statistical-analytical model for cost estimation and economical optimization of launch vehicles [Electronic resource] : Rep. № TCS-TR-184 // Intern. Space univ. 2003. URL: http://isulibrary.isunet.edu/opac/index.php?/v/=author_see&id=9 (date of visit: 10.11.2011).

9. Wertz J. R. Economic model of reusable vs. expandable launch vehicles [Electronic resource] : presented at the IAF Congress. Rio de Janeiro. 2000. URL: http://www.smad.com/scorpius/IAFPaper. pdf (date of visit: 10.11.2011).

10. Соболь И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Дрофа, 2006.

11. Конструкторское бюро химавтоматики : науч.-техн. юбил. сб. 1941–2001. Воронеж : Воронеж, 2001.

I. N. Borovik

TECHNICAL CHARACTERISTICS OF OXYGEN-HYDROGEN LIQUID ROCKET PROPULSION SYSTEM OF INTERORBITAL SPACE VEHICLE

In the article the results of working out of technical shape of LOX-LH2 Expander Cycle Liquid Rocket Engine (LRE) for expandable Orbital Transfer Vehicle, by means of mathematical model of multi-criteria optimization of design parameters, are described. As the criteria of optimization, the maximum weight of a payload and the minimum specific cost of transferring of a payload into a target orbit, are chosen. The calculation of optimum design parameters of LRE for expandable Orbital Transfer Vehicle for four problems of orbital transfer, defined in the characteristic speeds of inter-orbital transition, is resulted: 2500 km/s, 3500 km/s, 4800 km/s and 7000 km/s. On the received optimum design parameters, the design parameters of units of LRE are calculated and the technical shape is constructed.

Keywords: liquid rocket engine, technical shape, optimization.

© Боровик И. Н., 2011

УДК 621.396.946

А. В. Кузовников, И. А. Гуляев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Рассматриваются перспективы использования цифровой обработки сигналов в системах спутниковой связи. Показано, что цифровая обработка позволяет повысить энергетический потенциал радиолиний и увеличить общую пропускную способность спутниковых систем связи за счет внедрения новых типов сигнально-кодовых конструкций, асинхронного метода коммутации пакетов и регенерации сигналов на борту космического аппарата. Кроме того, применение цифровой обработки перспективно для организации связи в сложной радиоэлектронной обстановке. Предложен новый вид сигналов, позволяющий повысить помехозащищенность радиоканала.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, спутниковые системы связи, методы коммутации, помехозащищенность.

Исторически развитие спутниковых систем связи началось в середине прошлого века. В настоящее время существует большое количество спутниковых систем связи (ССС). Интенсивное развитие спутниковой связи обусловлено глобальной зоной покрытия и возможностью обеспечения связью труднодоступных районов Земли. Несмотря на все преимущества, спутниковая связь имеет существенные недостатки: высокую стоимость и узкий ассортимент предоставляемых услуг, высокую стоимость абонентских терминалов, низкую пропускную способность каналов связи. Использование цифровой обработки сигналов (ЦОС), крупногабаритных многолучевых антенн позволяет повысить эффективность работы ССС и делает возможным уменьшение стоимости оказываемых услуг. Анализ существующих систем связи позволяет сделать вывод о перспективности разработки новых типов транспондеров для космического аппарата (КА), использующих бортовую цифровую платформу для регенерации и коммутации большого количества сигналов от абонентских терминалов.

Применение ЦОС на борту КА помимо ряда других преимуществ позволяет добиться снижения стоимости наземного сегмента за счет возможности обеспечения прямой связи абонент–абонент, что приведет к сокращению количества наземных станций ретрансляции. Особый интерес представляет возможность использования на борту КА технологии АТМ (Asynchronous Transfer Mode) для коммутации сигналов.

Принципы работы АТМ-коммутации заключаются в следующем. Передача речевого сигнала от одного из собеседников ведется примерно в течение 40 % общего времени разговора. АТМ-коммутация позволяет использовать это время для передачи речевых сигналов других абонентов или других типов сигналов (данные, видео и пр.) [1]. Все сигналы, которые участвуют в сети АТМ, проходят дополнительную цифровую обработку в пограничных устройствах АТМ-сети, которая основана на разбиении на пакеты. Пакет состоит из заголовка и полезных данных. Информации, содержащейся в заголовке, достаточно для того, чтобы доставить пакет по назначению. Далее все пакеты поступают в матрицы временного ожидания. Каждый канал коммутатора АТМ периодически опрашивает матрицы ожидания. Если в них находятся пакеты, то они тут же отправляются по назначению, если нет, то формируются пустые пакеты. На входе приемного устройства все пакеты собираются в сообщение по информации, которая содержится в их заголовке.

Рассмотрим структурную схему бортового маршрутизатора (рис. 1).

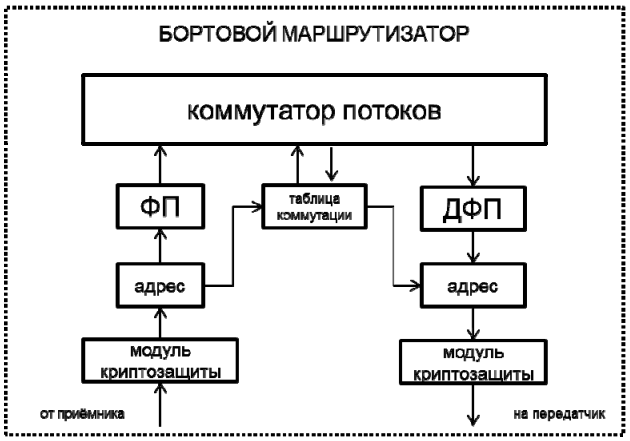


Рис. 1. Структурная схема бортового маршрутизатора

Коммутатор потоков обеспечивает высокоскоростную установку маршрутов передачи для всех потоков. Имеет защиту от вторжений, поскольку не использует протокол маршрутизации (метод табличнесвязанной маршрутизации). Запись в маршрутную таблицу осуществляется после прохождения этапа криптозащиты канала связи.

Формирователь пакетов (*ФП*)/*Деформирователь пакетов* (*ДФП*) обеспечивает упаковку и распаковку всех потоков в пакеты и выстраивание трафика с учетом качества обслуживания для каждого потока.

Адресный модуль обеспечивает задание/установление адреса отправителя. Модуль содержит дополнительный механизм аутентификации отправителя. При переходе на новый канал связи осуществляется

перерегистрация адреса отправителя, что обеспечивает мобильность соединения.

Модуль криптозащиты использует типовые методы для защиты канала связи. В оборудовании канала связи (приемнике и передатчике) используются типовые методы модуляции, полосы частот и мощности излучения.

На сегодняшний день технология АТМ остается достаточно дорогой, но стоимость спутниковых систем связи гораздо выше, что позволяет найти ей применение в этой области. В настоящее время существует яркий пример применения технологии АТМ в спутниковой связи – это КА Kizuna, который предназначен для обеспечения скоростным интернетом труднодоступных районов Японии. Данный КА обеспечивает скорость 155 МБит/с на линиях вверх и вниз при работе с наземным терминалом с антенной Ø 1,2 м или 1,5 МБит/с на линии вверх и 155 МБит/с на линии вниз при работе с наземным терминалом с антенной Ø 0,45 м. Преимуществом использования АТМ-технологии является возможность ее сопряжения с основными наиболее распространенными протоколами взаимодействия (IP, ISDN, HDTV). Важным этапом в создании спутниковых систем связи нового поколения является разработка многолучевых антенн в Ка-диапазоне.

Одна из основных проблем разработки и функционирования телекоммуникационных систем – защита каналов связи от помех естественного и искусственного происхождения.

С каждым годом радиоэлектронная обстановка в промышленно развитых регионах усложняется. Действующие процедуры распределения ограниченного радиочастотного ресурса не гарантируют оператору работу без помех. Поэтому требуются эффективные способы обеспечения защиты от помех.

Методы защиты от радиопомех были разработаны еще в середине XX в., тщательно систематизированы и описаны в отечественной и зарубежной специальной литературе, например в известных работах [2; 3]. Применение различных методов защиты от помех определяется техническими возможностями их реализации. Наиболее широко они используются и развиваются в специальных и военных системах связи, однако все чаще и чаще операторы гражданских систем связи вынуждены также прибегать к защите от радиопомех. В общем виде можно выделить организационные, энергетические, сигнальные и пространственные методы защиты от радиопомех. В данной статье будут рассмотрены методы повышения помехоустойчивости за счет использования шумоподобных сигналов.

Развитие методов цифровой обработки и элементной базы позволяет реализовать на практике методы защиты от помех, основанные на формировании шумоподобных сигналов и обеспечивающие потенциальную помехоустойчивость в 20…30 дБ. Это прежде всего применение псевдослучайных, многочастотных и широкополосных шумоподобных сигналов, а также использование методов помехоустойчивого кодирования сигналов, которые широко используются в современных системах спутниковой связи и демонстрируют удовлетворительную эффективность. Главный недостаток этих методов – необходимость в более широкой полосе частот для обеспечения защиты от радиопомех. В условиях естественной ограниченности радиочастотного ресурса это существенный недостаток, который снижает эффективность применения таких методов, особенно в высокоскоростных системах. Известно, что увеличение скорости передачи информации при неизменной ширине полосы полезного сигнала приводит к пропорциональному снижению коэффициента помехозащищенности. Поэтому помехозащищенные системы связи обладают низкой пропускной способностью.

Основными базовыми методами расширения спектра сигналов, широко применяемыми в современных системах связи, управления и распределения информации, являются [4]:

– метод непосредственной модуляции несущей псевдослучайной последовательностью (ПСП);

– метод псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ);

– метод совместного (комплексного) использования различных методов, например метода непосредственной модуляции несущей ПСП и метода ППРЧ.

Рассмотрим новый вид сигналов, полученных модуляцией сигнала биортогональной вейвлет-функции, которые являются достаточно перспективными и обеспечивают наибольшую помехозащищенность [5; 6].

Моделирование проводилось в пакете MatLab. При этом были заданы следующие параметры сигнала:

– скорость передачи информационного символа $V = 1$ кбит/с;

– длина ПСП Голда $N = 31$.

Для модуляции ПСП использовалась функция биортогонального вейвлета [7].

Анализ полученных спектров показал увеличение ширины полосы сигнала, модулированного биортогональной вейвлет-функцией (рис. 2) в 9 раз по сравнению с шириной полосы сигнала, модулированного ФМ ШПС (рис. 3). Увеличение помехозащищенности полученного сигнала пропорционально увеличению ширины полосы.

Относительная помехозащищенность составляет: ФМ ШПС – 17 дБ; (W) ШПС – 26 дБ.

Для обеспечения большей вероятности правильного выделения полезного сигнала на фоне шумов необходимо обеспечить наибольшее отношение сигнал/шум на входе демодулятора. Для этого в работе проведен анализ эффективности полиномиальной фильтрации (Савицкого–Голея) [8] для наиболее распространенных в ССС типов сигналов BPSK, 8PSK, QPSK, 16QAM при отношении сигнал/шум 3 дБ (рис. 4–7).

Значения выигрыша отношения сигнал/шум после полиномиальной фильтрации приведены в таблице.

Выигрыш в отношении сигнал/шум после полиномиальной фильтрации

Вид модуляции			
BPSK	QPSK	8PSK	16QAM
5…7	5…7	4…7	2…7

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности и перспективности использования в ССС цифровой фильтрации сигналов.

Итак, анализ современных тенденций развития методов формирования, фильтрации и коммутации сигналов показал, что спутниковые системы связи нового поколения необходимо проектировать с использованием единой цифровой бортовой подсистемы. Данная подсистема должна обладать высокоскоростной АТМ-коммутацией, иметь возможность менять режимы работы в зависимости от помеховой обстановки, выполнять адаптивную фильтрацию помех.

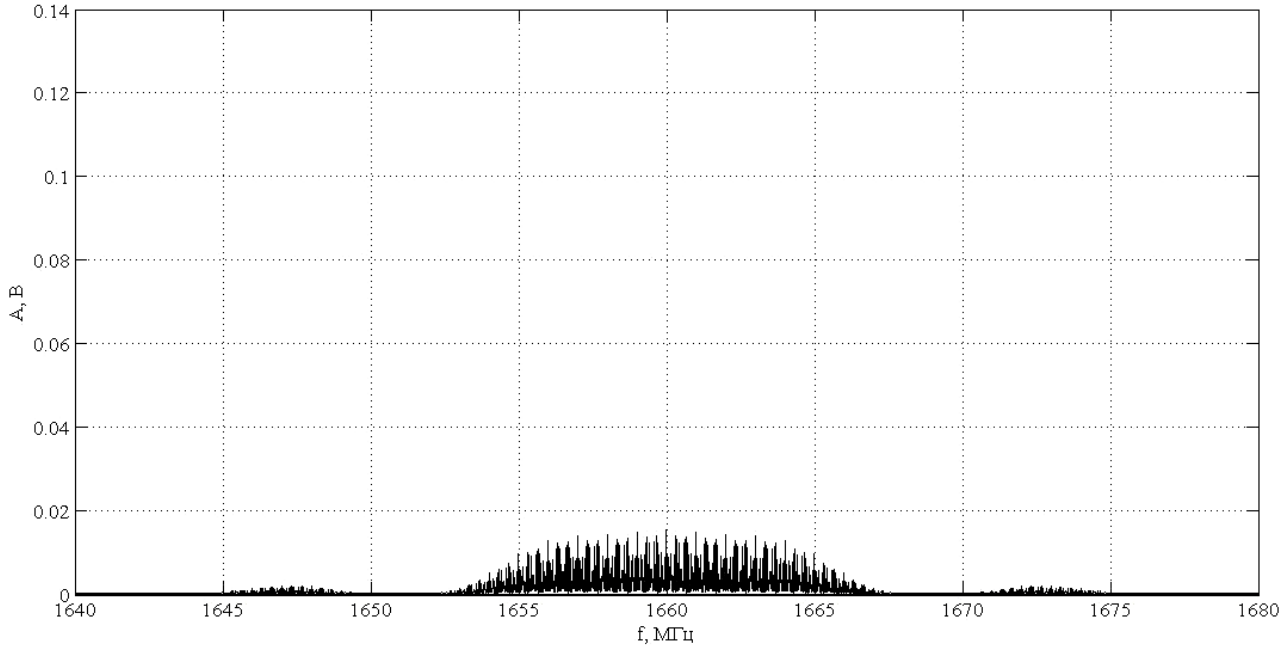


Рис. 2. Спектр сигнала модулированного вейвлет-функцией на несущей частоте 1 660 МГц

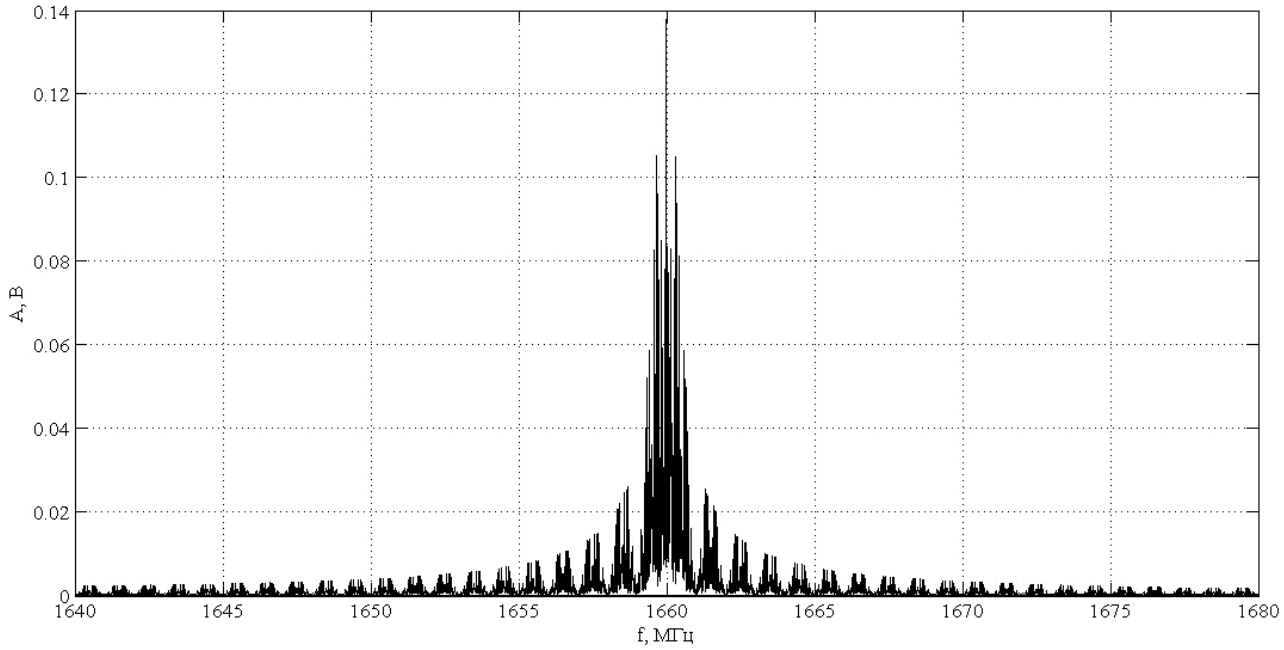


Рис. 3. Спектр сигнала ФМ ШПС на несущей частоте 1 660 МГц

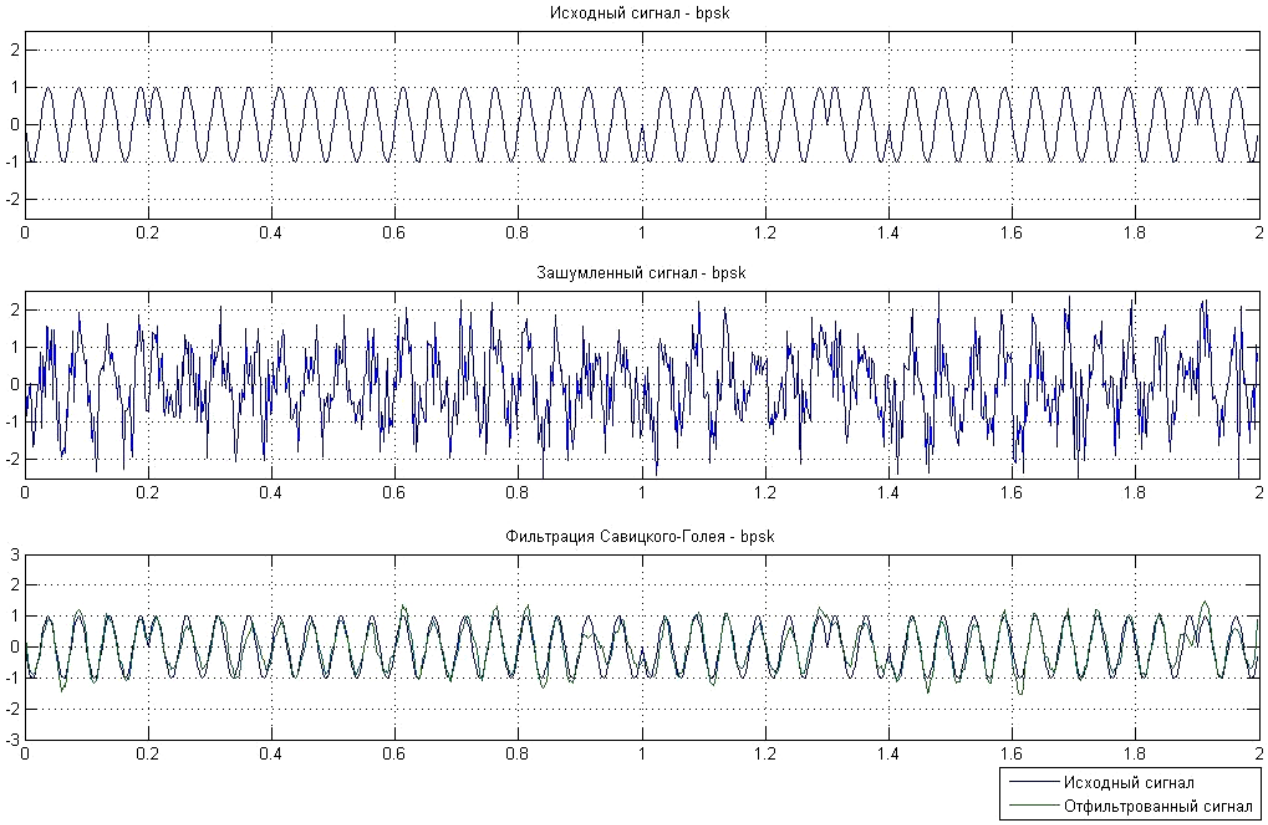


Рис. 4. Исходный, зашумленный и отфильтрованный сигнал BPSK

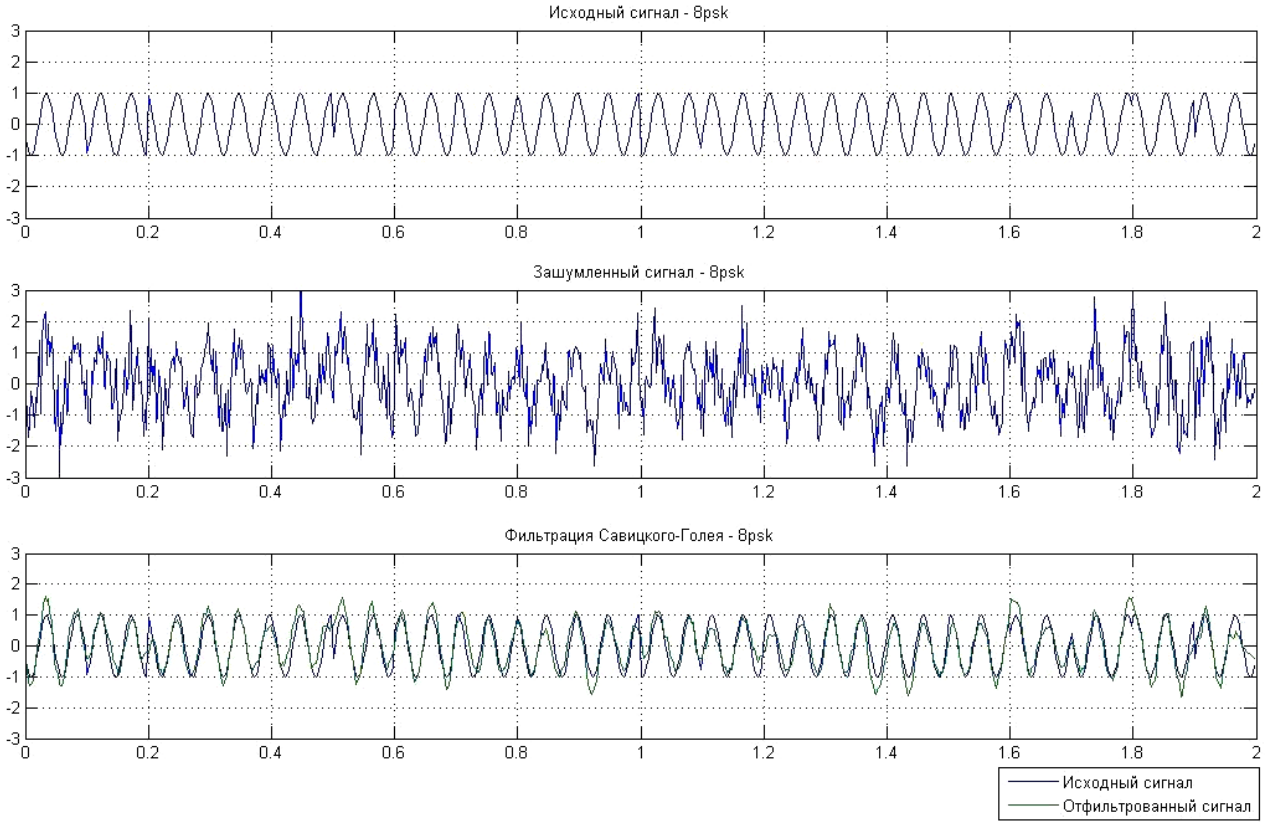


Рис. 5. Исходный, зашумленный и отфильтрованный сигнал 8PSK

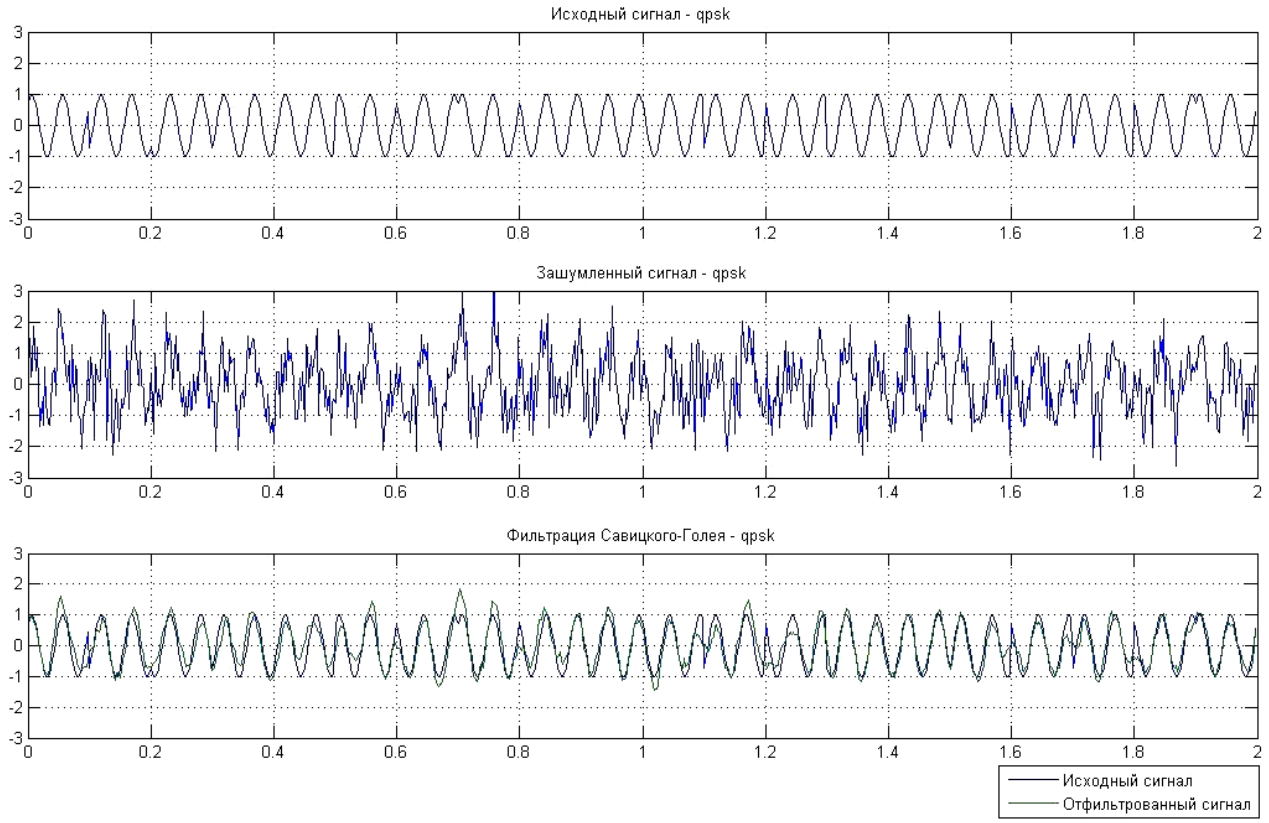


Рис. 6. Исходный, зашумленный и отфильтрованный сигнал QPSK

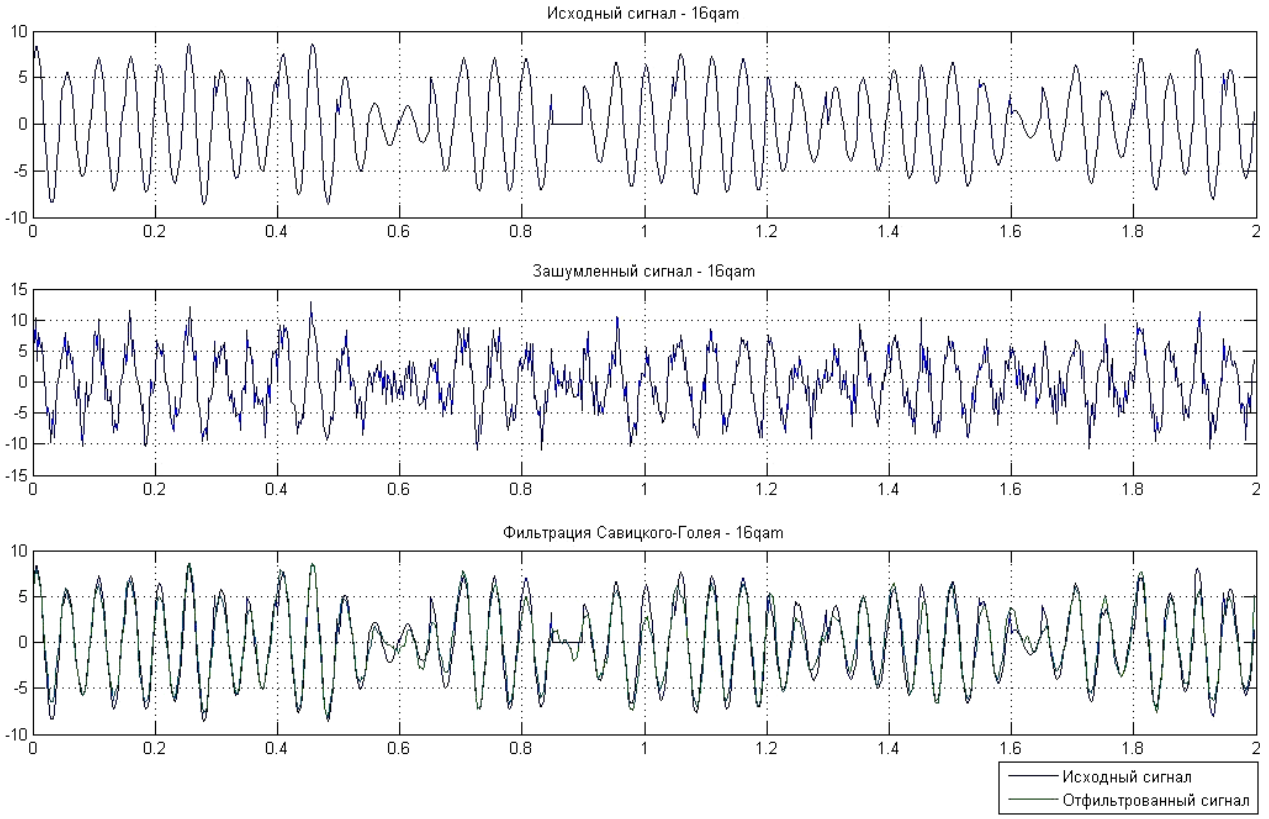


Рис. 7. Исходный, зашумленный и отфильтрованный сигнал 16QAM

Проведенные исследования показали, что модуляция ПСП биортогональной вейвлет-функцией повышает относительную помехозащищенность на 9 дБ, поэтому вопрос формирования сигналов с использованием ортогональных и биортогональных вейвлет-функций требует дальнейших исследований. Проведенный эксперимент по цифровой фильтрации показал, что отношение сигнал/шум обработанного сигнала можно повысить на 2…7 дБ. Таким образом, для создания эффективных систем спутниковой связи необходимо развивать и внедрять методы цифровой обработки сигналов.

Библиографические ссылки

1. Кунегин С. В. Основы технологии АТМ : учеб.-метод. пособие / в/ч 33965. М., 1999.

2. Защита от радиопомех / М. В. Максимов, М. П. Бобнев, Б. Х. Кривицкий и др. М. : Сов. радио, 1976.

3. Диксон Р. К. Широкополосные системы : пер. с англ. / под ред. В. И. Журавлева. М. : Связь, 1979.

4. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М. : Радио и связь, 1985.

5. Анжина В. А., Кузовников А. В. Модулирование сигнала псевдослучайной последовательностью при помощи ортогональных и биортогональных вейвлет-функций // Материалы Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Совр. пробл. радиоэлектроники». Красноярск, 2008. С. 364–367.

6. Формирование помехоустойчивого сигнала с использованием вейвлет-функций / А. В. Кузовников, В. А. Анжина, Н. В. Демаков, В. А. Кураков // Материалы докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2009». Томск, 2009. С. 32–34.

7. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М. : ДМК Пресс, 2005.

8. Orfanidis S. J. Introduction to Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1996.

A. V. Kuzovnikov, I. A. Gulyaev

RESEARCH OF EFFICIENCY OF USE OF DIGITAL PROCESSING IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

Prospects of use of digital processing of signals in satellite communication systems are considered. It is shown that digital processing allows to enlarge an energy potential of radio lines and to increase the general throughput of satellite communication systems at the expense of introduction of new types of signal-code designs, an asynchronous method of switching of packages and regeneration of signals on the board a space vehicle. Besides, application of digital processing is perspective for arrangement of communication in difficult radio-electronic conditions. The new kind of signals, which allow to increase noise immunity of a radio channel is offered.

Keywords: digital processing of signals, satellite communication systems, switching methods, noise immunity.

© Кузовников А. В., Гуляев И. А., 2011

УДК 539.3

В. А. Лавренов, А. В. Кацура

ВЛИЯНИЕ ОПЕРАЦИЙ УПРОЧНЕНИЯ НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Выполнена экспериментальная проверка принципиальной возможности реализации способа упрочнения элементов конструкций и исследовано влияние конструктивно-геометрических параметров деформируемого контурного подкрепления на усталостную долговечность плоских образцов с центральным круглым отверстием.

Ключевые слова: деформирование, прочность, усталостная долговечность.

Результаты усталостных испытаний (рис. 1) показывают, что характер зависимостей усталостной долговечности N образцов с упрочненными отверстиями фиксированного диаметра от исходной высоты деформированной бонки одинаков (кривые *2–5*). С увеличением степени пластической деформации возрастают по абсолютной величине остаточные напряжения, увеличивается зона радиального упруго-пластического деформирования материала вокруг бонки, долговечность образцов при циклических нагрузках возрастает. При относительных деформациях $\varepsilon = 29…38$ % долговечности образцов максимальны (кривая *1*). Затем начинается снижение усталостных характеристик вследствие появления в зоне пластического деформирования материала дефектов, количество и размеры которых растут с увеличением степени деформации. При деформациях $\varepsilon = 65$ % кривые выходят на очень низкие долговечности (образцы

с трещиноподобным дефектом, возникновение и параметры которого определяются геометрией бонки и образца).

С увеличением диаметра отверстия d максимальная долговечность образца снижается (из-за уменьшения абсолютной величины остаточных напряжений сжатия), оставаясь при этом до определенных значений глубины $h_т$ двухстороннего размерного химического травления выше исходных характеристик неупрочненного образца. С увеличением диаметра отверстия происходит снижение усталостной долговечности образцов. При сверлении отверстий, соизмеримых с размерами зоны упруго-пластического деформирования (два-три диаметра бонки), усталостная долговечность упрочненных образцов приближается к долговечности образца с отверстием соответствующего диаметра ($N = 2{,}5 \cdot 10^4$ циклов при $d = 7\ldots8$ мм). Для того чтобы сохранить ресурсные характеристики конструкции или ее элемента, например, при замене крепежа с рассверливанием отверстий, необходимо увеличить степень деформации бонки, для чего бонка в исходном варианте (при сборке конструкции) может быть деформирована (осажена) не полностью [1].

Применение локального пластического деформирования зон концентраторов напряжений типа «свободное отверстие» позволяет обеспечить заданные характеристики ресурса типовых элементов конструкций и провести минимизацию их веса, используя полные диаграммы усталости упрочненных образцов (рис. 2.) – семейство кривых (*1–10*) равной долговечности образцов при различных сочетаниях диаметров d отверстий при заданном диаметре бонки D и степеней пластического деформирования (высоты $h_б$) бонки.

Каждая кривая определяет все комбинации высот бонок и диаметров упрочненных отверстий, обеспечивающих определенную усталостную долговечность образца. Это – линии равных долговечностей. Кривая *11* пересекает линии равных долговечностей в точках, соответствующих максимальному диаметру отверстия при разных значениях высоты бонки $h_б$ для образца с заданной долговечностью N и определяет минимальный вес конструкции при заданной долговечности.

Выносливость (ресурс) конструкции зависит от многих конструктивно-технологических факторов: материала и типа полуфабриката; концентраторов напряжений и нерегулярностей; вида соединений; остаточных напряжений различного происхождения.

Целесообразно было перенести результаты экспериментов с типовыми образцами (полоса с отверстием) на элементы конструкций: фрагменты обшивки с вырезами, люками, имеющими, в отличие от отверстий под крепеж, относительно большие размеры по сравнению с толщиной обшивки.

Обычно при проектировании таких элементов предусматривается усиление контуров вырезов посредством утолщений обшивки по периметру выреза, использование накладок (приклепанных, приклеенных, приваренных), а также различных упрочняющих технологий, включающих в себя упрочнение поверхностным пластическим деформированием, установку крепежа с большими натягами, устранение мягкого плакирования и др.

При переносе результатов модельного эксперимента на реальные конструкции могут возникнуть проблемы, как связанные с побочными эффектами существенного деформирования больших объемов материала (коробление и поводка элементов конструкций, изменение теоретических обводов и контуров деталей и вырезов в них), так и определяющие эффективность упрочнения (неравномерная пластическая деформация, значительное упругое последействие, релаксация остаточных напряжений, преждевременное растрескивание материала, высокий уровень уравновешивающих остаточных напряжений обратного знака).

Изучение возможности торможения и остановки зародившихся от конструктивной нерегулярности – концентратора напряжений – усталостных трещин путем предварительного (в процессе изготовления детали) создания на вероятной траектории распространения трещины зоны пластического деформирования (стопора) показало, что при приближении к бонкам трещина постепенно тормозится и практически останавливается; далее в эксперименте не удавалось стронуть трещину при наработке $1 \cdot 10^6$ циклов даже при ступенчатом повышении максимального напряжения цикла и наработке с такими же базами. Разрушение происходило по нерасчетному сечению образца.

Эти данные были использованы при формировании программы исследований возможности применения сочетания операции доводки по весу с помощью РХТ и упрочнения пластическим деформированием для увеличения усталостной долговечности образцов с отверстиями под крепеж, с вырезами, для создания стопоров на пути распространения магистральных трещин, для обеспечения герметичности заклепочных соединений без использования герметиков. Стопоры, полученные деформированием припусков в виде круглых и серпообразных бонок, обеспечили полное торможение трещин усталости в зонах упрочнения.

На образцах минимального веса, параметры которых были подобраны по кривым равных долговечностей, изучено влияние пластического деформирования одностороннего и двухстороннего утолщения – бонки в зоне цилиндрического отверстия, влияние упрочнения зенкованного отверстия, оценен эффект упрочнения гнезда под закладную головку обжатием бонки пуансоном перед операцией сверления и зенкования. После полного пластического деформирования бонки и последующего сверления отверстия с начальным диаметром с обратной стороны (по отношению к поверхности с бонкой) специальным пуансоном-конусом выдавливалось медленным деформированием гнездо под закладную головку заклепки, затем отверстие рассверливалось до промежуточного диаметра, гнездо под головку заклепки с помощью зенкера доводили до номинального размера.

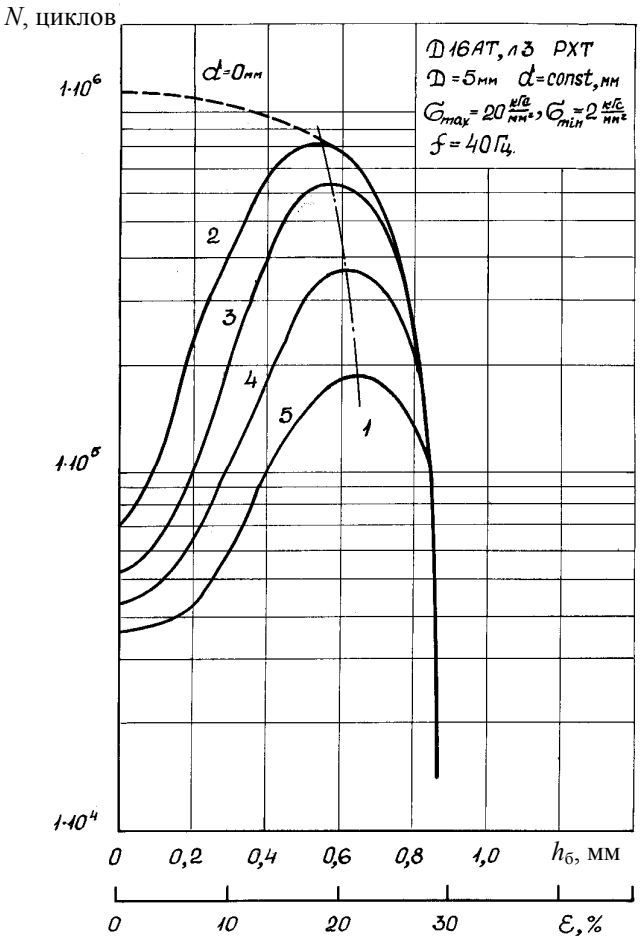


Рис. 1. Зависимость долговечности образцов с отверстием от степени поперечного пластического деформирования (вдавливания) бонки

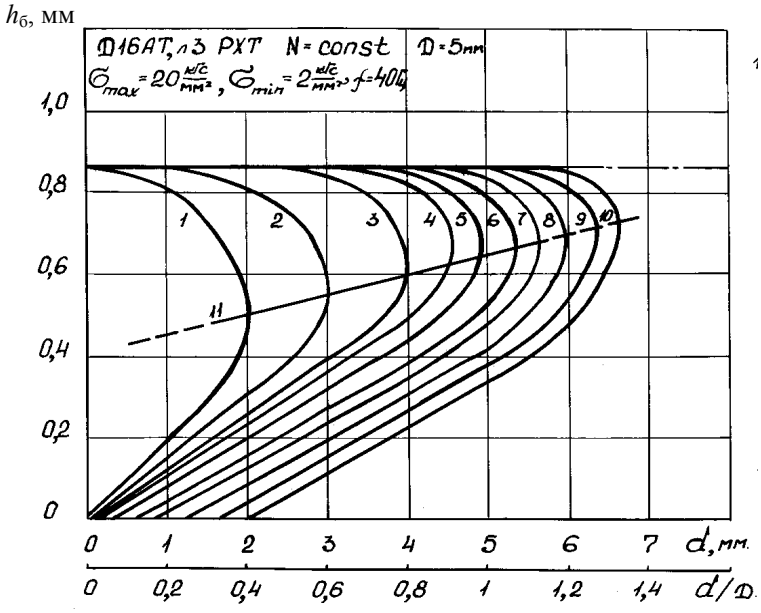


Рис. 2. Полная диаграмма усталости (кривые равной долговечности) образцов из алюминиевого сплава Д16АТ, с упрочненным отверстием при циклическом растяжении с частотой нагружения $f = 40$ Гц на уровне $\sigma_{max} = 20$ кгс/мм^2, $\sigma_{min} = 2$ кгс/мм^2

Если в неупрочненных образцах зарождение трещин происходило на контуре отверстия, то трещины в упрочненных образцах возникали на поверхности основного материала в зоне максимальных уравновешивающих остаточных напряжений растяжения.

В реальных конструкциях большое количество разрушений обусловлено возникновением усталостных трещин в зонах концентраторов напряжений типа «вырез», линейные размеры которых намного больше толщины обшивки. Эффективность упрочнения в большей степени должна зависеть от соотношения геометрических размеров бонки (идентичной подкреплению выреза в монолитной панели) и самого выреза. Высота бонки из экономических и технологических соображений определяется толщиной слоя материала, стравливаемого с помощью РХТ при доводке по весу или предельным отклонениям размеров. Изъятие материала в месте выреза также приводит к снижению уровня остаточных напряжений сжатия за счет упругой деформации свободного контура выреза [2].

Эффективность упрочнения контуров вырезов методом пластического деформирования подкрепления-бонки изучена на образцах из листового алюминиевого сплава Д16АТ толщиной 3 мм с вырезами – люками различной формы: круглой, квадратной и ромбовидной с радиальным сопряжением сторон в трех вариантах: свободный вырез; подкрепленный вырез; упрочненный вырез. Заготовки, вырезанные вдоль проката, подвергали двухстороннему химическому травлению на глубину 0,5 мм с каждой стороны.

После химического травления и удаления защитного покрытия подкрепление-бонку на части образцов деформировали контактным способом заподлицо с основной поверхностью металла. На основании предварительного эксперимента из условия отсутствия коробления образцов при пластическом деформировании была уточнена ширина подкрепления.

Кроме того, с целью минимизации веса конструкции был изготовлен вариант образцов с ромбовидным вырезом, имеющих подкрепление-утолщение только в местах максимальной концентрации напряжений (в углах ромба в поперечном линии действия нагрузки сечении образца).

Последующее полное пластическое деформирование подкрепления (на 20 %) существенно сказалось на показателях долговечности: сопротивление усталости образцов с круглым вырезом возросло более чем в 23 раза; с квадратным вырезом – в 10 раз; с ромбовидным вырезом – в 7,5 раз; с ромбовидным вырезом и частичным подкреплением – в 26 раз.

При фрактографическом анализе установлено, что в образцах со свободным вырезом усталостные трещины зарождались на контуре выреза, в образцах с подкреплением – на внешней поверхности (не со стороны подкрепления). В упрочненных образцах зарождение трещин происходило в местах перехода зон упрочнения в основной материал (где действуют уравновешивающие остаточные напряжения растяжения). При этом трещина распространялась к краю образца и лишь при статическом доломе выходила на контур выреза. При осадке 20 % отмечено несколько случаев появления трещины на кромке выреза со стороны пластически деформированного подкрепления-бонки, что связано с растрескиванием металла при больших пластических деформациях.

Комплекс исследований, проведенных на образцах из алюминиевого сплава Д16АТ, показал, что операции упрочнения контуров отверстий и вырезов за счет пластического деформирования припусков материала (окантовок или бонок) в зонах концентраторов напряжений, полученных при размерном химическом травлении и доводке по весу и предельным отклонениям размеров, могут быть эффективно использованы для обеспечения максимальной долговечности при заданном весе или минимального веса конструкции при заданной долговечности.

Сравнительные усталостные испытания проведены при циклическом растяжении на уровнях максимальных напряжений σ_{max} = 120, 160, 200, 240 МПа при минимальном напряжении цикла σ_{min} = 20 МПА при частоте нагружения f = 40 Гц на резонансной испытательной машине УР-2000.

Качественный анализ результатов испытаний выявляет полную аналогию в реакции конструкционных материалов на технологические воздействия и заметное преимущество сплава 1163АТ перед сплавом Д16АТ по исходным и выходным усталостным характеристикам.

В зависимости от уровня циклического нагружения в диапазоне σ_{max} = 200…120 МПа исходные образцы с концентратором напряжений из сплава 1163АТ в сопротивлении усталости превосходят образцы из Д16АТ в 1,1…1,8 раза.

У образцов после РХТ это преимущество в интервале σ_{max} = 200…120 МПа несколько возрастает, что свидетельствует о меньшей повреждаемости поверхности образцов из этого материала размерным химическим травлением по сравнению со сплавом Д16АТ.

Упрочнение локальным пластическим деформированием односторонней бонки, образованной при двухстороннем РХТ, еще больше усиливает это превосходство.

Нелинейное возрастание относительной долговечности для всех типов образцов со снижением уровня циклического нагружения указывает на более высокое «качество» сплава 1163АТ в отношении интенсивности накопления повреждений при циклическом нагружении.

Влияние РХТ на образцы из разных сплавов одинаково: наблюдается падение сопротивления усталости в 1,5…5 раз, причем со снижением уровня циклического нагружения отрицательное влияние РХТ возрастает.

В случае последующего применения упрочнения локальным пластическим деформированием ситуация кардинально меняется: несмотря на предварительную

обработку химическим травлением долговечность образцов из обоих сплавов возрастает по сравнению с исходными образцами в 5…17 раз, причем эффект усиливается со снижением уровня циклического нагружения. На уровнях циклического растяжения σ_{max} < 160 МПа разрушение образцов происходило вне отверстия на границе зоны локального пластического деформирования или, иногда, по гладкой части образца, обработанной РХТ.

Вследствие относительно небольшой по сравнению с диаметром бонки ширины образца большое влияние на процесс зарождения трещины и характер разрушения оказывает частичное выключение из работы в расчетном сечении впаянной упругой шайбы, образованной при локальном пластическом деформировании, определяющей величину нетто-напряжений в критическом месте [3].

Таким образом, применение упрочнения локальным пластическим деформированием путем полного или частичного контактного вдавливания подкреплений-бонок, выполненных при съеме металла методом контурного химического травления в зонах вырезов и отверстий за счет избыточной толщины заготовки, обеспечивает повышение усталостной долговечности элементов авиационных конструкций с концентраторами напряжений из листового сплава 1163АТ, сопоставимое по эффективности с показателями для конструктивных элементов из сплава Д16АТ.

Библиографические ссылки

1 Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов : пер. с англ. М. : Металлургия, 1979.

2. Карлашов А. В. Коррозионно-усталостная прочность дуралюмина при наличии концентраторов напряжений / А. В. Карлашов, Ю. В. Томников // ФХММ. 1965. № 2. С. 186–190.

3. Лапаев А. В. Оценка долговечности и предельного состояния элементов конструкции с коррозионными поражениями из сплава марки 1163 АТ / А. В. Лапаев // Науч. вестник МГТУ ГА. 2008. № 130. С. 119–122.

V. A. Lavrenov, A. V. Katsura

THE EFFECT OF STRENGTHENING OPERATIONS ON ENDURANCE LIFE OF AIRCRAFT APPLIANCES STRUCTURAL ELEMENTS

An experimental inspection of technical possibility of implementation of a way to strengthen the structural elements was carried out as well as a research of effects on structural and geometrical characteristics of a deformed circuit reinforcement on endurance life of flat samples with a central round opening was conducted.

Keywords: deformation, durability, endurance life.

© Лавренов В. А., Кацура А. В., 2011

Раздел
3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

УДК 620.1.05

Н. Н. Автономов, М. С. Пучнин

РЕГИСТРАЦИЯ ДИАГРАММЫ ВДАВЛИВАНИЯ ШАРОВОГО ИНДЕНТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

Описана конструкция измерительной головки и измерительного стенда для проведения испытаний металлических материалов. Результаты экспериментов представлены в виде диаграмм «нагрузка – глубина вдавливания».

Ключевые слова: шаровой индентор, глубина вдавливания, твердость.

С появлением простых испытаний на твердость в начале XX в. сразу же возник вопрос о том, нельзя ли по измерениям твердости судить о механических свойствах металлов. В своих экспериментах О. А. Бринелль, Н. А. Минкевич и многие другие исследователи стремились найти связь между твердостью по Бринеллю HB и пределом прочности σ_b, а также с другими механическими характеристиками.

Такие связи между HB и σ_b были найдены и даже стандартизованы. Так, в Германии в немецких инженерных нормах DIN 50359–1 для сталей была рекомендована зависимость между HB и σ_b. Американское инженерное автомобильное общество получило экспериментальные зависимости, позволяющие по значениям HB определять для сталей σ_b, предел текучести $\sigma_{0,2}$ и относительное поперечное сужение ψ. Однако эти зависимости являются чисто экспериментальными, теоретически не обоснованы и носят частный характер. В ISO 14577–1 предусмотрено кинетическое индентирование и рекомендуется определять расчетное значение твердости как отношение максимально приложенной нагрузки к контактной площади лунки под нагрузкой.

Для оценки качества металлов по твердости Н. Н. Давиденков в 1943 г. высказал мысль о необходимости оценивать твердость не какому-то одному частному значению, а по диаграмме, которая охватывает несколько значений [1]. Это исследование удалось осуществить только после того, как в 1949 г. М. П. Марковцом [2] был предложен способ количественного определения степени деформации в лунке по формуле

$$\psi = \frac{M - F}{M}, \qquad (1)$$

где M – площадь поверхности отпечатка; F – площадь проекции отпечатка на первоначальную плоскость.

Равенство (1) также можно представить в виде

$$\psi = 1 - \frac{d^2}{D\left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}\right]} = \frac{4h^2}{4h^2 + d^2}, \qquad (2)$$

где D – диаметр шара; d, h – диаметр и глубина восстановленного отпечатка.

Зависимости (1) и (2) характеризуют усредненную величину степени деформации в лунке, однако они не отражают максимальных деформаций, наблюдаемых на оси вдавливания шарика на глубине, примерно равной половине радиуса площадки контакта. Но, тем не менее, эти зависимости дают возможность в первом приближении оценить деформированное состояние. Напряжение в лунке можно подсчитать путем деления нагрузки P, приложенной к шару, на площадь поверхности лунки M:

$$H = \frac{P}{M}. \qquad (3)$$

Эксперименты показывают, что диаграмма твердости, построенная в координатах $H - \psi$, $H - d$ или $H - h$, аналогична диаграмме растяжения. В частности, на диаграмме твердости наблюдаются такие же характерные точки $H_{пц}$, $H_{т}$ и H_{max}, что и на диаграмме растяжения, т. е. твердости на пределе пропорциональности, текучести и максимуме.

Наличие на диаграмме твердости характерных точек, таких же как на диаграмме растяжения, открывает более широкие возможности для определения механических свойств простыми испытаниями на твердость. В связи с этим само испытание на твердость принимает самостоятельное значение, по-видимому, не меньшее, чем испытание на растяжение.

Сопоставление твердости в характерных точках с соответствующими напряжениями при растяжении в таких же точках можно выполнить экспериментально и теоретически.

Теоретические исследования зависимостей вдавливания шара в идеально жестко-пластическое тело проводились академиком А. Ю. Ишлинским [3]. Напряжения под индентором в упругой области деформирования были определены М. П. Марковцом и В. И. Пашниной [4], а М. П. Марковцом совместно с Л. И. Куртеном [5] исследовалось пластическое деформирование в условиях ползучести. Коллективом М. П. Марковца также был разработан один из первых приборов для регистрации диаграммы «нагрузка – глубина вдавливания индентора».

Локальность и возможность безобразцового применения метода вдавливания шарового индентора делают его незаменимым в таких отраслях современной промышленности, как космическая, нефте-

газовая, атомная энергетика, гидроэнергетика и многие другие.

В данной статье представлена авторская конструкция измерительного устройства, позволяющая получать данные для построения диаграммы «нагрузка – глубина вдавливания» в режиме реального времени важным преимуществом которой является возможность ее установки на твердомер Бринелля для проведения испытаний, а также предложен вариант переносного измерительного стенда.

Измерительное устройство работает следующим образом. При приложении нагрузки к узлу нагружения, создаваемой гидравлическим домкратом измерительного стенда или твердомером Бринелля, шаровой индентор вдавливается в образец. При этом происходит перемещение измерительного стержня, которое вызывает отклонение измерительной балки на величину, соответствующую глубине вдавливания. Измерение этого параметра производится тензодатчиками сопротивления, наклеенными на измерительную балку и на балку температурной компенсации, соединенных по мостовой схеме. Изменение нагрузки также фиксируется тензодатчиками, наклеенными на упругий элемент динамометра.

Измерительная головка, представленная на рис. 1, состоит из узла нагружения, в который входят следующие элементы: винт базирования *14*, опора нагружения *11*, динамометр *7*, наконечник *5*, индентор *4*; узла регистрации глубины вдавливания, в который входят измерительный стержень *8*, измерительная балка *20*; узла крепления измерительной балки и температурной компенсации измерений, состоящего из балки температурной компенсации *21*, крепежных элементов *22* и *24*, уголка *23*, державки *10* с хомутом *9*; узла крепления измерительной головки к твердомеру, а также ее прижима к образцу, представленного кольцом *17*, винтом *18*, корпусом *19*, пружиной *6*, крышкой *3*.

Конструкция измерительного стенда для проведения испытаний в лабораторных условиях (рис. 2 и 3) состоит из нижнего и верхнего оснований *2* и *11*, жестко скрепленных четырьмя стойками *3* при помощи винтов *1*. Подвижная часть состоит из нижней траверсы *4*, на которой располагается образец *7*, соединенной с верхней траверсой *13* силовыми тягами *8* при помощи гаек *6* с шайбами *5*. Перемещение подвижной части осуществляется при помощи гидравлического домкрата *12* по направляющим *9*. Измерительная головка *10* располагается по центру верхнего основания *11* и крепится к нему винтами. Особым преимуществом стенда является возможность проведения испытаний остатков стандартных образцов из металлопроката.

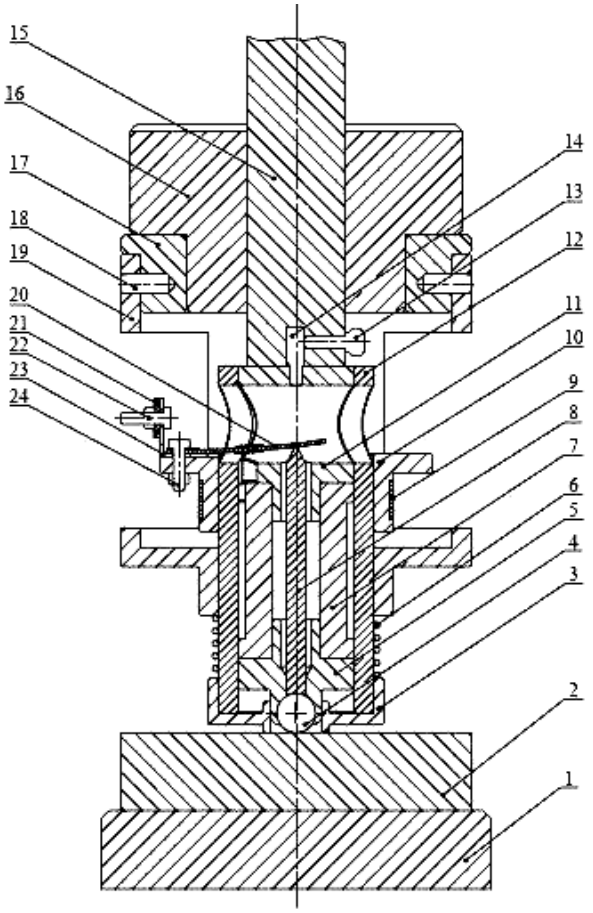


Рис. 1. Измерительная головка:
1 – стол твердомера; *2* – образец; *3* – крышка; *4* – индентор; *5* – наконечник; *6* – пружина; *7* – динамометр; *8* – измерительный стержень; *9* – хомут; *10* – державка; *11* – опора нагружения; *12* – обойма; *13* – винт твердомера; *14* – винт базирования; *15* – подвижная часть твердомера; *16* – неподвижная часть твердомера; *17* – кольцо; *18* – винт; *19* – фиксатор; *20* – измерительная балка; *21* – балка температурной компенсации; *22*, *24* – крепежные элементы; *23* – уголок

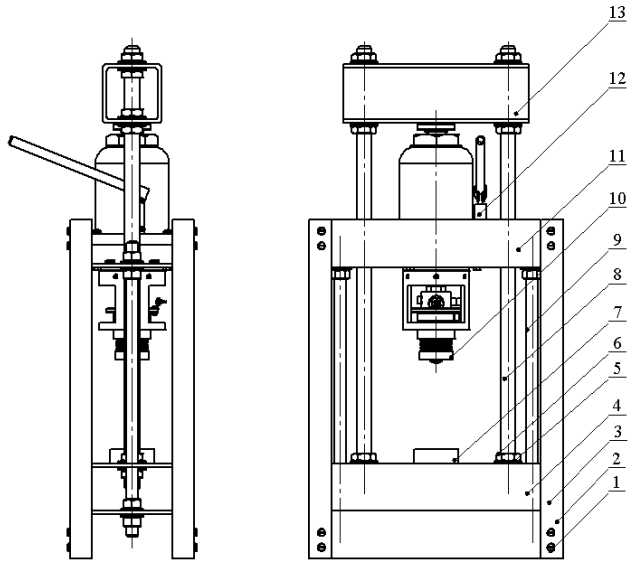
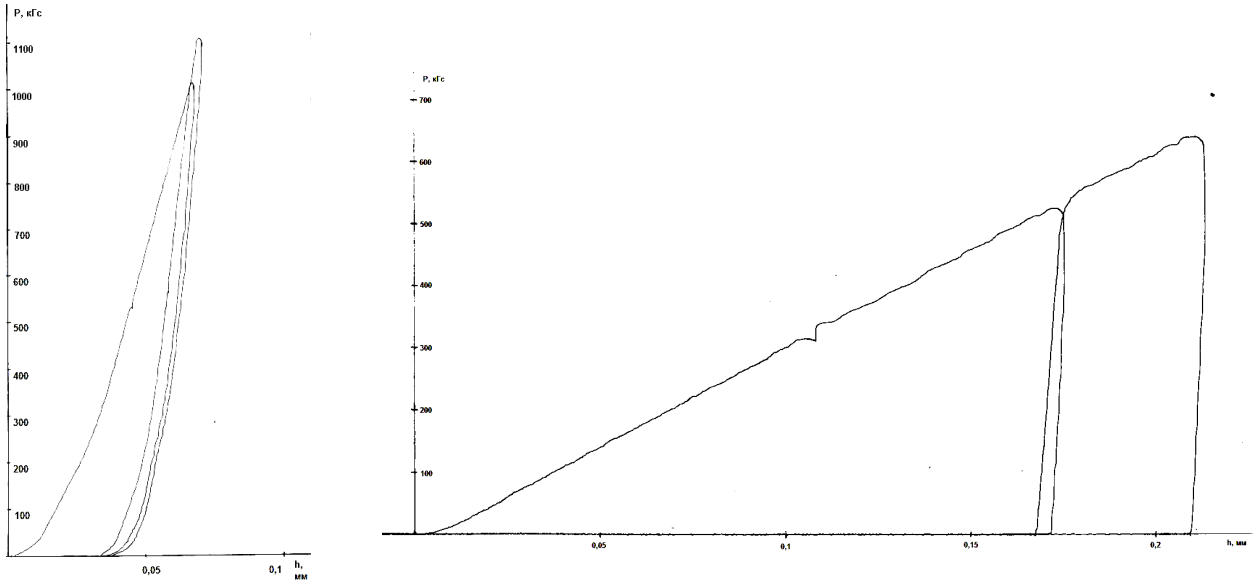


Рис. 2. Общий вид измерительного стенда (обозначения см. в тексте)

Рис. 3. Измерительный стенд в сборе



а *б*

Рис. 4. Диаграммы «нагрузка – глубина вдавливания» для алюминиевого сплава (*а*) и легированной стали (*б*)

Стенд не требует строгой установки по уровню, так как в нем не используется сила тяжести для создания нагрузки с помощью грузов, как в твердомере Бринелля. Кроме того, он гораздо легче твердомера и может использоваться в передвижных лабораториях.

Тарировка измерительной системы проводится при помощи рычажного динамометра и индикатора часового типа с погрешностью измерения 0,01 мм.

Для оценки работоспособности измерительной системы были получены диаграммы «нагрузка – глубина вдавливания» (рис. 4) с использованием измерительного стенда и двухкоординатного потенциометра. Испытания проводились на частях алюминиевых (рис. 4, *а*) и стальных образцов (рис. 4, *б*), прошедших стандартные испытания.

Представленное в данной статье конструктивное решение защищено патентом РФ на полезную модель 100291 и с полным основанием может быть рекомендовано для промышленной апробации.

Библиографические ссылки

1. Давиденков Н. Н. Некоторые проблемы механики металлов. Л. : Лениздат, 1943.

2. Марковец М. П. Построение диаграммы истинных напряжений по твердости и технологической пробе // Журн. техн. физики. 1949. Т. XIX, вып. 3. С. 371–382.

3. Ишлинский А. Ю. Осесимметричная задача пластичности и проба Бринелля // Прикл. математика и механика. 1943. Т. 8. С. 201.

4. Марковец М. П., Пашнина В. И. Исследования в области измерения твердости // Тр. металлург. инт-ов СССР. 1967. Вып. 91/151.

5. Марковец М. П., Куртен Л. И. Определение сопротивления ползучести металлов методом длительного вдавливания шара в вырезанную лунку // Проблемы прочности. 1981. № 9. С. 88–91.

N. N. Avtonomov, M. S. Puchnin

REGISTRATION OF THE SPHERICAL BALL INDENTOR DIAGRAM WITH THE USE OF THE NEW MEASURING HEAD

In the article the authors describe the new measuring head and stand for mechanical testing of metal materials. The experimental results are presented in the article as a «load–indentation depth» diagram.

Keywords: spherical indenter, indentation depth, hardness.

© Автономов Н. Н. , Пучнин М. С., 2011

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, Т. Г. Вейсвер

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ*

Рассмотрено устройство автоматического позиционирования электронного луча по стыку свариваемых деталей во время сварки, в котором реализован поиск экстремума синхронным детектированием сигнала датчика (рентгеновского или вторично-эмиссионного). Измерительные операции осуществляются во время вывода луча из канала по направлению сварки.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, вторично-электронная эмиссия, рентгеновское излучение, синхронный детектор.

В настоящее время достаточно много внимания уделяется вопросам обеспечения точного позиционирования электронного луча по стыку свариваемых деталей при сварке протяженных стыков. В качестве источников информации о положении луча относительно стыка используются такие сопутствующие явления, как вторичная электронная эмиссия и рентгеновское излучение. В случае отсутствия оплавления свариваемых кромок характер изменения вторично-эмиссионного тока и интенсивности тормозного рентгеновского излучения от положения луча относительно стыка является одинаковым – экстремальным, при этом экстремум – минимум характеристики – соответствует совпадению координат луча и стыка, благодаря чему становится возможным применение унифицированного аппаратного состава для построения устройств слежения за стыком.

Анализ вторичных излучений при отсутствии оплавления не случаен, поскольку выделение информации о положении луча относительно стыка из канала проплавления затруднено из-за наличия высокого уровня помех. В то же время требуемую в процессе сварки информацию можно получить в непосредственной близости от канала, что может быть реализовано, например, кратковременным выводом луча из канала, осуществлением измерительных операций и возвращением луча в зону сварки. При этом максимальное время вывода должно быть таким, чтобы не произошло заметных изменений в сварочной ванне, а скорость перемещения луча должна обеспечить ввод энергии, недостаточной для оплавления кромок стыка.

В разработанном авторами устройстве для автоматического слежения за стыком при электронно-лучевой сварке реализован поиск экстремума, основанный на способе синхронного детектирования сигнала датчика стыка. Применение синхронного детектирования основано на том, что при сканировании стыка электронным лучом в спектре сигнала датчика стыка появляются гармонические составляющие с частотами, кратными частоте сканирования. Так, амплитуда составляющей сигнала с частотой, равной частоте сканирования, пропорциональна отклонению луча относительно стыка, а ее фаза определяет направление смещения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2.1.2/9274).

Появление в сигнале датчика гармонических составляющих связано с тем, что в параметры электронного луча вводятся периодические составляющие. В частности, математическое ожидание положения луча можно представить в виде суммы постоянной составляющей (случайного отклонения луча от стыка) и периодической составляющей с заданной амплитудой (сканирования стыка лучом).

Вторичная электронная эмиссия и рентгеновское излучение являются следствием взаимодействия первичного пучка электронов с веществом свариваемых деталей. Поэтому если допустить, что плотность распределения электронов в луче подчиняется нормальному закону, то при отсутствии оплавления ток вторичных электронов и интенсивность тормозного рентгеновского излучения с точностью до соответствующих коэффициентов определяются выражением [1]:

$$J(\varepsilon) = KI_b\left\{1-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{x_1}^{x_2}\exp\left[-\frac{(x-\varepsilon)^2}{2\sigma^2}\right]dx\right\}, \qquad (1)$$

где J – параметр вторичного излучения; K – коэффициент, характеризующий природу вторичного излучения; I_b – ток луча; σ – среднеквадратическое отклонение электронов от оси пучка; ε – математическое ожидание положения луча; x_1 и x_2 – координаты кромок стыка; $(x_1 - x_2) = \delta$ – зазор в стыке.

Анализ графиков, построенных по выражению (1) (рис. 1), показывает, что при $\varepsilon = 0$ координата x экстремума совпадает с координатой стыка $x = 0$.

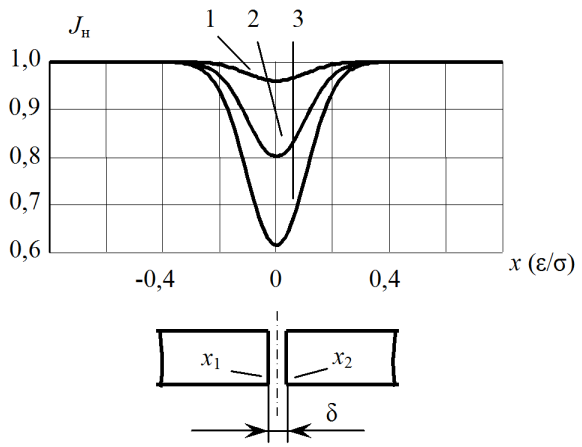


Рис. 1. Зависимость интенсивности вторичных излучений J от положения луча относительно стыка:
σ = const = 0,1 мм; δ = var; *1* – δ/σ = 0,1; *2* – δ/σ = 0,5; *3* – δ/σ = 1; $J_н$ – нормализованный параметр J

Экстремальный характер этих зависимостей обусловливает возможность применения известных способов поиска экстремума для определения положения луча относительно стыка. Одним из таких способов является способ синхронного детектирования сигнала датчика (вторично-эмиссионного или рентгеновского), для чего вводятся поисковые движения – сканирование стыка электронным лучом. В результате математическое ожидание положения луча может быть представлено следующим образом:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_m \sin\alpha,$$

где ε_0 – смещение луча относительно стыка; ε_m – амплитуда поискового движения; $\alpha = \omega t$, здесь ω – частота, t – время. Тогда выражение (1) примет вид

$$J(\varepsilon_0) = KI_b\left\{1-\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{x_1}^{x_2}\exp\left[-\frac{(x-\varepsilon_0-\varepsilon_m\sin\alpha)^2}{2\sigma^2}\right]dx\right\}. \qquad (2)$$

При наличии периодической составляющей в параметре ε выходной сигнал датчика (2) может быть представлен рядом Фурье.

Рассмотрим зависимость составляющей ряда b_1 с частотой ω от ε_0. Эта составляющая определяется как коэффициент ряда Фурье:

$$b_1(\varepsilon_0) = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} J(\varepsilon_0)\sin\alpha\, d\alpha. \qquad (3)$$

График зависимости $b_1(\varepsilon_0)$, рассчитанной в соответствии с (3) (рис. 2), позволяет сделать вывод о том, что в окрестностях стыка спектральная составляющая $b_1(\varepsilon_0)$ пропорциональна рассогласованию положений луча и стыка, а ее знак определяет направление рассогласования. Это обстоятельство предполагает возможность применения синхронного детектирования сигнала датчика для получения информации о положении луча относительно стыка.

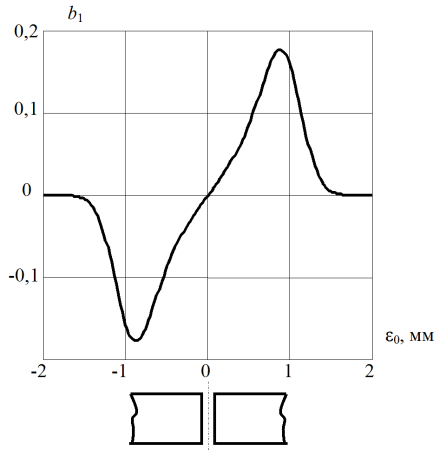


Рис. 2. Зависимость амплитуды синусоидальной составляющей сигнала датчика с частотой ω от положения луча относительно стыка:
σ = 0,1 мм; δ = 0,1 мм; ε_m = 1 мм

Устройства для автоматического слежения за стыком при электронно-лучевой сварке (рис. 3) работает следующим образом [2].

С помощью генератора выброса Г и отклоняющей системы $ОС_Y$ луч периодически выводится из сварочной ванны по направлению сварки. В это же время генератором ГС и отклоняющей системой $ОС_X$ осуществляется сканирование стыка лучом (рис. 4, *а*). Одновременно генератор ГС формирует опорное напряжение, поступающее на один из входов синхрон-

ного детектора СД. В синхронном детекторе происходит перемножение сигналов датчика Д и опорного напряжения:

$$[b_1(\varepsilon_0)\sin\alpha]\sin\alpha = [b_1(\varepsilon_0)] / 2 - [b_1(\varepsilon_0)\cos 2\alpha] / 2. \quad (4)$$

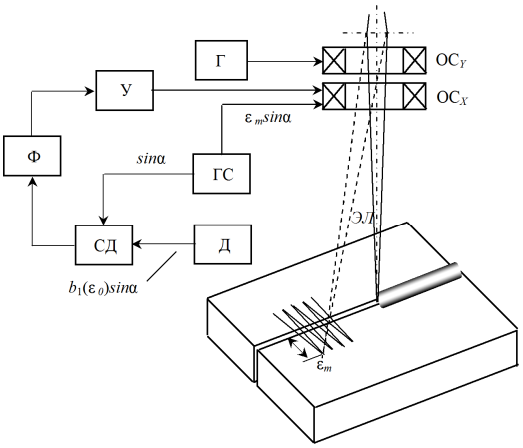
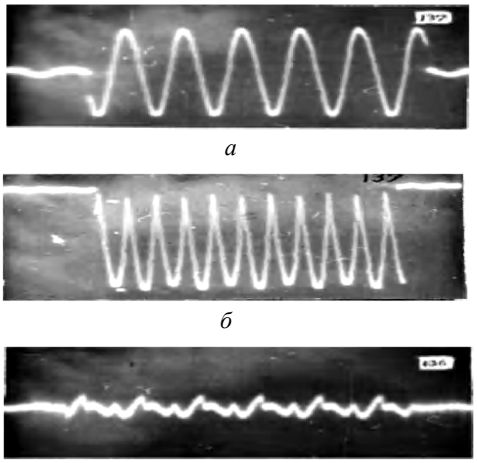


Рис. 3.Структурная схема устройства:
Д – датчик; ГС – генератор сканирования; СД – синхронный детектор; Ф – фильтр; У – усилитель; Г – генератор выброса луча; ОС$_X$ – отклоняющая система по оси X; ОС$_Y$ – отклоняющая система по оси Y

Из (4) и осциллограмм (см. рис. 4) следует, что если есть отклонение $b_1(\varepsilon_0)$ луча от стыка, то сигнал на выходе синхронного детектора представляет сумму постоянной и переменной составляющей с частотой, равной 2ω (рис. 4, *б*). Высокочастотная составляющая отфильтровывается фильтром Ф, и сигнал постоянного тока, пропорциональный отклонению луча через усилитель мощности У, поступает в отклоняющую систему ОС$_X$, в результате чего осуществляется коррекция положения луча. При совпадении координат луча и стыка $b_1(\varepsilon_0) = 0$ и сигнал на выходе синхронного детектора практически отсутствует (рис. 4, *в*).



а

б

в

Рис. 4. Осциллограммы сигналов:
а – ток в отклоняющей системе X; *б* – сигнал на выходе синхронного детектора при $\varepsilon_0 \neq 0$; *в* – сигнал на выходе синхронного детектора при $\varepsilon_0 = 0$

Техническая реализация рассмотренного устройства не представляет особых трудностей. В качестве вторично-эмиссионного датчика используется коллектор вторичных электронов, а в качестве рентгеновского датчика – датчик сцинтилляционного типа с фотоэлектронным умножителем (рис. 5).

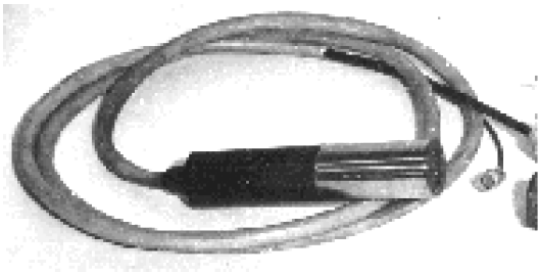


Рис. 5. Рентгеновский датчик

Макрошлифы соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой без слежения и со слежениием за стыком, представлены ниже (рис. 6).

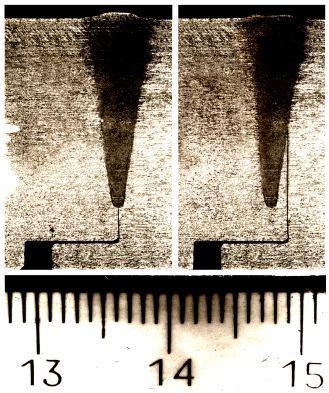


Рис. 6. Макрошлифы соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой без слежения (правый снимок) и со слежением за стыком (левый снимок)

Устройства, разработанные в соответствии с приведенной на рис. 3 функциональной схемой, в течение нескольких лет эксплуатируются при электронно-лучевой сварке крупногабаритных изделий аэрокосмической отрасли. Погрешность совмещения луча со стыком не превышает 0,1 мм.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– одинаковая природа вторично-эмиссионного и рентгеновского излучения при электронно-лучевой сварке позволяет использовать для устройств управления одинаковый аппаратный состав;

– в условиях электронно-лучевой сварки предпочтительнее применять рентгеновские датчики слежения за стыком, так как рентгеновское излучение наименее подвержено действию различных помех;

– применение синхронного детектирования сигнала датчика стыка увеличивает помехозащищенность устройства за счет того, что вероятность помехи на частоте сканирования мала.

Библиографические ссылки

1. Reichmann A., Leffler D., Bartel R. State of the Art of a FEP Control Unit of Beam Scanning for Electron Beam Equipment // Proc. of 6th Intern. Conf. on Beam Technology. Halle (Saale), 2004. P. 102–107.

2. Control Over Electron Beam Welding Process by X-Ray Radiation from the Zone of Welding / V. Shabanov, V. Braverman, V. Bashenko, and S. Bajakin // Proc. of 6th Intern. Conf. on Beam Technology. Halle (Saale), 2004. P. 68–74.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev, T. G. Veysver

AUTOMATIC DETECTION SYSTEM FOR THE SEAM AT THE ELECTRON BEAM WELDING PROCESS

In the article the description of device, which provides automatic positioning of electron beam relative to joint of welded parts during welding, is given. Search of the acme, based on synchronous detection of sensor signal (X-ray or secondary emission) is realized in the device. Measurements were made when beam goes out of the channel following the welding direction.

Keywords: *electron beam positioning, secondary electron emission, X-ray radiation, synchronous detector.*

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., Вейсвер Т. Г., 2011

УДК 669.715.6:673.3.8:66.069.84

Г. Г. Крушенко

ДЕГАЗАЦИЯ ЛИГАТУР Al–Zr И Al–Ti С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОГО СПЛАВА АЛ27-1

Предварительный переплав лигатур Al–Zr и Al–Ti приводит к повышению механических свойств сплава АЛ27-1.

Ключевые слова: переплав, лигатуры Al–Zr и Al–Ti, механические свойства, сплав АЛ27-1.

В аэрокосмической отрасли при производстве высоконагруженных литых деталей летательных аппаратов широко применяется алюминиево-магниевый сплав АЛ27-1 (состав по ГОСТ 1583–93: Mg – 9,5…11,5 %; Be – 0,05…0,15 %; Ti – 0,05…0,15 %; Zr – 0,05…0,20 %; Al – остальное; примеси – не более 0,05 % каждого элемента: Mn, Cu, Zn, Si, Fe; сумма примесей для всех видов литья – не более 0,5 %). Этот сплав характеризуется высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью, способностью выдерживать высокие статические и ударные нагрузки. Требуемые механические свойства сплава в термически обработанном состоянии (режим Т4): временное сопротивление $\sigma_в \geq 350$ МПа; относительное удлинение $\delta \geq 15$ %; твердость по Бринеллю НВ ≥ 75 [1].

Недостатки литейных сплавов системы Al–Mg заключаются в их повышенной склонности к взаимодействию с газами, что приводит к образованию в отливках газовой пористости и газовых раковин, поэтому приготовление таких сплавов нужно проводить под флюсом. С этой же целью при литье в песчано-глинистые формы в формовочную смесь добавляют борную кислоту [2], которая препятствует взаимодействию жидкого металла с влагой формовочной смеси, однако приводит к образованию в сплаве неметаллических включений и оксидных пленок.

Пленка на поверхности жидких сплавов системы Al–Mg, содержащих более 1,0 % Mg, состоит из пористой рыхлой окиси магния MgO, не препятствующей взаимодействию расплава с газовой атмосферой [3], в связи с чем в состав сплава входит бериллий, образующий на поверхности жидкого металла прочную оксидную пленку BeO.

Еще одной особенностью сплавов системы Al–Mg является их затвердевание в широком интервале температур. При этом кристаллизация происходит одновременно в большом объеме металла при сильно разветвленной сетке дендритов, что затрудняет питание отливки жидким металлом в междендритных пространствах. Вследствие этого отливка оказывается пораженной рассеянной усадочной пористостью, приводящей к снижению герметичности отливок и ухудшению их механических свойств, особенно прочностных. Кроме того, присутствующие в расплаве газы в процессе кристаллизации выделяются в поры, образуя так называемую газово-усадочную пористость, которая в еще большей степени ухудшает указанные характеристики.

С целью повышения механических свойств литых изделий, получаемых из сплава АЛ27-1, при его приготовлении в расплав в составе лигатур вводят титан и цирконий, приводящие к измельчению структуры сплава.

Из известного классического соотношения Холла–Петча [4; 5]

$$H_v(\sigma_т) = H_0(\sigma_0) + \frac{k}{\sqrt{D}},$$

где H_v – твердость материала; $\sigma_Т$ – предел текучести; H_0 – твердость тела зерна; σ_0 – внутреннее напряжение, препятствующее распространению пластического сдвига в теле зерна; k – коэффициент пропорциональности; D – размер зерна, следует, что при уменьшении размера зерна происходит рост прочности материала.

Однако титан и цирконий являются активными поглотителями водорода, который вызывает образование газовой пористости и газовых раковин, что приводит к снижению их механических свойств сплава АЛ27-1 [6; 7].

Для удаления водорода из применяемых при приготовлении сплава АЛ27-1 лигатур «Al – 3,0 % Zr» и «Al – 3,0 % Ti» их предварительно переплавляли в течение 15 мин в вакуумной индукционной высокочастотной печи при 1 373…1 473 К и разрежении $6…8 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. (0,799…1,066 Па) с последующей разливкой с помощью устройства, находящегося в печи, слоем 15…20 мм в чугунные неподогретые изложницы без снятия вакуума.

Рабочий сплав готовили в электрической печи сопротивления в графито-шамотовом тигле. Вначале в тигель загружали навеску алюминия, в которую после расплавления последовательно вводили алюминиево-бериллиевую лигатуру (Al – 4,26 % Be), алюминиево-циркониевую лигатуру (Al – 3,0 % Zr), алюминиево-титановую лигатуру (Al – 3,0 % Ti) и магний марки Мг1. После растворения магния с поверхности расплава снимали шлак и окисную пленку и производили его рафинирование гексахлорэтаном C_2Cl_6 в два приема из расчета 0,25 % (50 г) от массы плавки. После выстаивания сплава в течение 8…10 мин и повторной очистки его поверхности при 720 °С в кокиль были отлиты пробы диаметром 35 мм, из которых после термической обработки (режим Т4) вытачивали образцы (по 3 штуки) для испытания механических свойств.

Состав сплавов контролировали химическими способами.

По описанной технологии проводили серию плавок, полученные результаты испытаний механических свойств усредняли. Анализ этих результатов (см. таблицу) показал, что при применение разработанной технологии приготовления сплава временное сопротивление разрыву $\sigma_в$ относительно требуемого значения по ГОСТ 1583–93 повысилось на 14,1 % (с 320 до 365 МПа), относительное удлинение δ – на 58,3 % (с 12,0 до 19,0 %), твердость по Бринеллю НВ – на 2,7 % (с 75 до 77). При этом плотность сплава, определенная гидростатическим методом, увеличилась с 2 545 до 2 565 кг/м^3.

Казалось бы, что такое, на первый взгляд, несущественное повышение плотности (на 0,78 %), не имеет особого значения. Однако в работе [8] было показано, что прирост плотности сплава АК9ч всего на 0,43 % (с 2 564 до 2 575 кг/м^3) в результате изменения температурного режима его приготовления в определенной степени коррелирует с увеличением $\sigma_в$ на 10,4 % (с 235 до 260 МПа) (отметим, что отличающиеся величины корреляции прочности и плотности сплавов АЛ27-1 и АК9ч связаны с их принадлежностью к разным системам: первый из них относится к системе Al–Mg, второй – к системе Al–Si). Увеличение плотности сплава свидетельствует об уменьшении суммарного объема дефектов газового происхождения.

Библиографические ссылки

1. Белоусов Н. Н. Плавка и разливка сплавов цветных металлов. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981.
2. Голотенков О. Н. Формовочные материалы : учеб. пособие. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004.
3. Альтман М. Б. Неметаллические включения в алюминиевых сплавах. М. : Металлургия, 1965.
4. Hall E. O. The Deformation and Ageing of Mild Steel: III. Discussion of Results // Proc. of the Phys. Soc. Sect. B. 1951. Vol. 64, № 9. P. 717–753.
5. Petch N. J. Cleavage Strength of Polycrystals. 1953. Vol. 174. P. 25–28.
6. Modeling of Porosity Formation in Direct Chill Cast Aluminum–Magnesium Alloys / P. D. Lee, R. C. Atwood, R. J. Dashwood, H. Nagaumi // Materials Science and Engineering A. 2002. Vol. 328, Iss. 1–2. P. 213–222.
7. Sonsino C. M., Ziese J. Fatigue Strength and Applications of Cast Aluminium Alloys with Different Degrees of Porosity // Intern. J. of Fatigue. 1993. Vol. 15, Iss. 2. P. 75–84.
8. Крушенко Г. Г., Василенко З. А. Плотность и механические свойства силуминов, термически обработанных в жидком состоянии // Расплавы. 1988. Т. 2, вып. 6. С. 67–69.

Химический состав и механические свойства сплава АЛ27-1

Технология	Содержание компонентов*, %				Механические свойства		
	Mg	Be	Zr	Ti	$\sigma_в$, МПа /прирост, %	δ, % / прирост, %	НВ, МПа /прирост, %
ГОСТ 1583–93	9,5…11,5	0,05…0,15	0,05…0,20	0,05…0,15	320	12,0	750
Предлагаемая автором	10,5	0,041	0,061	0,027	365/14,1	19,0/58,3	770/2,7

*Остальное – алюминий.

G. G. Krychenko

DEGASIFICATION OF Al–Zr AND Al–Ti ALLOYING COMPOSITION FOR INCREASE OF MECHANICAL PROPERTIES OF CONSTRUCTIONAL Al 27-1 ALLOY

The preliminary refining of Al–Zr and Al–Ti alloying compositions leads to increase of mechanical properties of Al27-1 alloy.

Keywords: refining, master alloys Al–Zr and Al–Ti, mechanical properties, alloy Al27-1.

© Крушенко Г. Г., 2011

UDC 621.745.01:669.017

G. G. Krushenko, V. A. Bartenev

SIZE, FORM AND DISTRIBUTION OF INTERMETALLIC PARTICLES OF $TiAl_3$ IN ALUMINIUM-TITANIUM ALLOYING COMPOSITION

This article presents an evaluation of the size, form and quantity of the particles of titanium aluminide $TiAI_3$ in rod inoculating alloying composition, used in semi-continuous casting of ingots of aluminum and aluminum-based alloys.

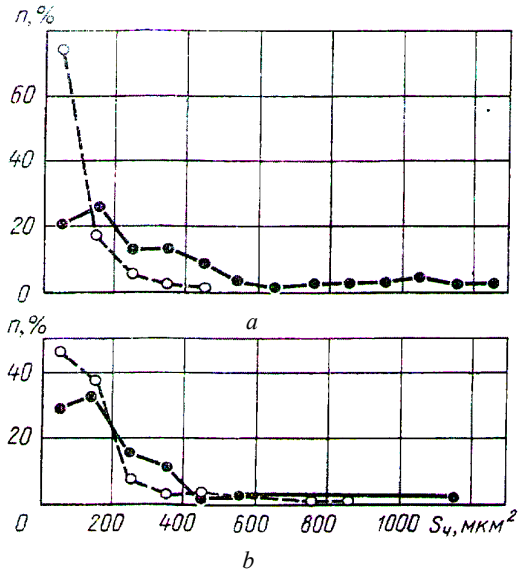
Keywords: ingots of aluminum and aluminum-base alloys, alloying compositions, titanium aluminide.

By the semi-continuous method of casting the aluminum alloys ingots for fining its structure and following improvement the technological characteristics as a consequence (that is the prevention of cracks appearance) and rising the mechanical properties of work pieces made of these ingots by methods of no cutting shaping, at the stage of preparing alloys the inoculations are added in it [1].

Using as an example known Ti- and B-containing master alloys [2] it has been shown that their quality has a strong influence on the quality of cast parts of aluminum alloys inoculated particles of $TiAl_3$ and AlB_2 that are contained respectively in these master alloys. The basic qualities indices of master alloys is the size, form and distribution of the particles of inoculating compounds.

Two master alloys containing 5.0 and 3.5 % Ti (rods with a diam. of 9.5 and 8.0 mm, respectively) produced by different methods were investigated. The area of the titanium aluminide particles was determined by the method of random intercepts [3] on specimens of cross sections of the rods (at 200×) both in the original condition and after immersion of them and holding for 60 sec in molten aluminum (700 °C) with subsequent hardening in water with ice (at 0 °C). The rods were held in molten aluminum for the purpose of establishing the influence of thermal action on the size of the $TiAI_3$ particles in inoculation of the master alloy in the aluminum during casting of ingots. In this case the specimens were prepared on cross sections of the rods at ~ minimum distance from the boundary of fusion of them.

The analysis of the measurement results shows that in the original rod containing 5 % Ti the quantity of titanium aluminide particles with the smallest area (0…100 μm^2) is 20.43 % (see Figure). Heating of the rod causes an increase in the quantity of particles of this size group by 3.6 times (to 74.19 %). A larger quantity of particles (29.04 %) corresponds to this range of sizes in the original bar of the master alloy with 3,5 % Ti than in the first master alloy but heating causes an increase in the quantity of them to a lesser degree (to 46.25 %).



Histograms of the distribution of the areas of titanium aluminide $TiAI_3$ particles in the inoculating rod master alloys (*n* is the frequency of cases):
a – ∅ 9.5 mm with a 5 % Ti content; *b* – ∅ 8.0 mm with a 3.5 % Ti content; • – original condition; o – after immersion of the rod in molten aluminum (700 °C) and hardening in water with ice (0 °C)

In this case it may be seen (see Figure) that the quantity of the finest titanium aluminide particles in the master alloy with 5 % Ti is 1.6 times greater than in that with 3.5 % Ti. It was also established that heating of the rods leads to solution of the coarsest particles. For example, while in the alloy with 5 % Ti the largest area of a particle in the original rod is 1 285.92 μm^2, heating causes a decrease in it by 3.1 times (to 411,84 μm^2) and in the bar of alloy with 3.5 % Ti by 1.3 times (from 1 152.00 to 881,28 μm^2). The particles of titanium aluminide are less elongated in the master alloy with 5 % Ti, which may be seen from an analysis of the ratios of the length to the width of their cross sections l / h. For example, while for the alloy with 5 % Ti after heating of the rod l / h = 1…5, for the alloy with 3.5 % Ti l/h = 1…25.

The difference in the dimensions of the titanium aluminide particles influenced the degree of refinement of the structure of a 70 × 430 mm cross section ingot case by the semicontinuous method of А6П aluminum with a withdrawal rate of 95…100 mm/min (А6П aluminum: Al ≥ 99.6 %; impurities, ≤: 0.25 % Fe; 0.18 % Si; 0.010 % Cu; 0.05 % Zn; 0.020 % Ti; total ≤ 0.40 %; П – intermediate product).

The rods were placed in te molten metal during flow of it along the runner from the mixer to the mold at a rate providing a titanium content of 0.056…0.060 %. In rating the grain structure on transverse template of the ingots it was established that without inoculation the number of grains per mm^2 of specimen area is 4.4 in the peripheral zone, 28.1 in the intermediate, and 13.1 in the center.

With inoculation of the molten material by master alloy with 5 % Ti the number of grains in these zones increases to 47.7; 74.9, and 51.6, respectively, while addition of the master alloy with 3.5 % Ti causes less of an effect of grain refinement to 38.5; 73.9, and 35.5 per mm^2, respectively.

Conclusions:

1. In heating of titanium-containing inoculating rods to the operating temperature by immersion of them in molten aluminum the size of the titanium aluminide $TiAl_3$ particles decreases, which improves the inoculation effect.

2. The effect of refinement of the structure of the aluminum in casting of ingots is greater with the use of a rod master alloy with finer and less elongated compact titanium aluminide particles.

References

1. Balashov B. A., Vasilenko Z. A., Krushenko G. G. Influence of Heating on the Size and Distribution of Titanium Aluminide in Rod Inoculating Master Alloys [Electronic resorce]. URL: http://www.springerlink.com/content/h665323452q6617/fulltext.pdf (date of visit: 30.10.2011).

2. Sevier P. E., Dore Y. E., Peterson W. S. Considerations in the Evaluation of Aluminum Master Alloys // J. of Metals. 1970. Vol. 22, № 11. P. 37–46.

3. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. 3-е изд. М. : Металлургия, 1970.

Г. Г. Крушенко, В. А. Бартенев

ВЕЛИЧИНА, ФОРМА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ИНТЕРМЕТАЛЛИДА $TiAl_3$ В ЛИГАТУРЕ АЛЮМИНИЙ-ТИТАН

Представлена оценка величины, формы и распределения частиц алюминида титана $TiAl_3$ в прутковой лигатуре алюминий–титан, используемой при полунепрерывном литье слитков из алюминия и алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: слитки из алюминия и алюминиевых сплавов, лигатуры, алюминид титана.

© Krushenko G. G., Bartenev V. A., 2011

УДК 629.78.002.3

А. Е. Михеев, А. В. Гирн, В. В. Хартов, Е. В. Вахтеев, И. В. Евкин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

Исследовано воздействие факторов хранения и эксплуатации, терморадиационных и антиэрозионных характеристик, электрического сопротивления на покрытия, полученные методом микродугового оксидирования (МДО). Исследования показали, что МДО-покрытия могут быть использованы в качестве защитных покрытий космических аппаратов.

Ключевые слова: антиэрозионные покрытия, микродуговое оксидирование.

Для обеспечения функционирования космического аппарата (КА) в течение всего срока активного существования (САС) необходимо, чтобы деградация ряда параметров аппаратуры и систем в процессе эксплуатации не приводила к нарушению его целевого использования.

Ужесточение требований по массе, энерговооруженности и повышение требований к ресурсу и надежности КА приводят к уплотнению его компоновочной схемы. Как следствие, возрастает эрозионное воздействие стационарных плазменных двигателей (СПД), используемых в качестве двигателей коррекции, на материалы элементов конструкции КА. Обострение конкуренции на рынке космической техники вызывает необходимость в разработке новых и модернизации существующих защитных покрытий с требуемыми характеристиками.

Эрозионное воздействие плазменных струй СПД, заключающееся в уносе материала конструкции в результате длительной бомбардировки ионами газа, приводит к загрязнению внешних поверхностей КА продуктами распыления. Основной характеристикой данного вида воздействия является глубина эрозии, т. е. толщина распыленного слоя.

Предварительная оценка эрозионно-загрязняющего воздействия плазмы, генерируемой стационарными плазменными двигателями, на поверхности панелей солнечных батарей и терморегулирующих покрытий (ТРП) радиатора системы терморегулирования (СТР) КА показала, что данное воздействие может существенно дестабилизировать функционирование КА [1].

Предварительная оценка уровня эрозии углепластика КМУ-4, из которого изготовлены штанги и каркас БС, составляет от 103,5 до 827,6 мкм при длительности работы СПД 4 500 ч. Максимальный уровень загрязнения терморегулирующего покрытия радиатора СТР продуктами эрозии панелей БС – $1{,}5\cdot10^{-3}$ г/см^2. Полученное значение деградации коэффициента поглощения покрытием солнечной радиации ΔA_S вследствие загрязнения продуктами эрозии панелей БС, равное 0,12, недопустимо высоко (допускаемое значение деградации коэффициента поглощения ΔA_S терморегулирующего покрытия радиатора СТР платформы «Экспресс-1000Н» от воздействия всех факторов составляет 0,16).

Еще одно негативное воздействие плазменных струй СПД проявляется в эрозии электропроводящего слоя (ПЭП) на терморегулирующих покрытиях КА, что приводит к накоплению статического заряда и возникновению электропробоев на поверхности КА.

При этом решить проблему эрозионного воздействия плазмы СПД на материалы элементов конструкции КА с помощью разуплотнения компоновочной схемы КА невозможно в связи с ужесточением требований по массе и энерговооруженности КА.

Таким образом, с целью повышения качества изготовления изделий космической техники необходимы разработка и применение на критичных поверхностях КА покрытий с повышенной стойкостью к эрозионному воздействию плазмы СПД.

Предварительный анализ показал, что к веществам, обладающим наибольшей стойкостью к воздействию струи плазмы инертных газов (аргона, ксенона), относится оксид алюминия (AL_2O_3). Оценочные расчеты показывают, что необходимая толщина защитного покрытия из AL_2O_3 должна быть не менее 33 мкм.

В данной работе предлагается защищать элементы конструкции КА, попадающие под действие плазмы СПД, тонкой (до 100 мкм) алюминиевой фольгой с антиэрозионным покрытием из оксида алюминия, нанесенного микродуговым оксидированием (МДО), что приемлемо и по весовым характеристикам [2–4].

Исследования проводились на установке ИАТ-Т, источник питания которой позволяет осуществлять независимую регулировку анодной и катодной составляющих тока и одновременно стабилизировать средние величины этих токов, что существенно упрощает проведение процесса МДО и ведет к улучшению качества получаемых покрытий. Источник имеет следующие технические характеристики: диапазон регулируемых напряжений (0…800) В; диапазон регулируемых токов (0…120) А/дм^2; погрешность стабилизации тока до 5 %.

В качестве подложки использовались образцы фольги АД размерами 160×130 мм и толщиной 100 мкм. Микродуговое оксидирование образцов проводили в слабощелочных водных электролитах различных составов.

Покрытия формировали при соотношениях $I_к/I_а$ от 0,6 до 1,4, плотностях тока в диапазоне от 10 до 40 А/дм^2, в течение 10…60 мин. Толщину покрытий

контролировали толщиномером ТТ260 и на поперечных шлифах при помощи оптического микроскопа. Микроструктуру защитного покрытия, нанесенного МДО, изучали с использованием металлографического исследовательского комплекса SIAM на базе оптического микроскопа ЛабоМет И2.

С ростом плотности тока наблюдается увеличение твердости оксидного слоя защитных покрытий, это происходит за счет повышения содержания модификации α-Al_2O_3 в покрытии, что подтверждают исследования фазовых составляющих покрытия. Увеличение катодной составляющей тока приводит к увеличению твердости покрытия и снижению его толщины, это объясняется повышением температуры в канале пробоя. При уменьшении соотношения $I_к/I_а$ до 1 и более микротвердость покрытия снижается, а толщина увеличивается.

Выявлено, что оптимальными режимами получения защитных покрытий являются режимы обработки при высоких плотностях тока (более 20 А/дм^2) и соотношении анодной и катодной составляющей тока менее 1. Оптимальное время обработки от 30 до 45 мин.

Для проведения испытаний защитных покрытий на воздействие факторов хранения и эксплуатации были изготовлены образцы защитного покрытия из алюминиевой фольги АД по ГОСТ 4784–74 с МДО поверхности размером не менее 100×100 мм.

Защитные покрытия подверглись следующим видам испытаний:

– цикличному сгибанию на диаметре 20 мм;

– ускоренным климатическим испытаниям (УКИ);

– радиационному воздействию;

– термоциклированию.

Перед УКИ образцы защитных покрытий были подвергнуты циклическому сгибанию по боковой поверхности цилиндра диаметром 20 мм и последующему разгибанию в плоскость. Количество циклов 50. Внешний вид покрытий после воздействия не изменился.

Измерение терморадиационных коэффициентов поглощения солнечной радиации A_s и степени черноты E_n проводилось в соответствии с ОСТ92-0909–69. Измерение коэффициента A_s проводилось фотометром ФМ-59М, коэффициента E_n – терморадиометором ТРМ-И. В качестве образца сравнения при измерении коэффициента A_s защитного покрытия с МДО использовали образец АД с анодным оксидированием, $A_s = 0{,}47$.

Измерение поверхностного сопротивления проводилось на тераомметре Е6-13А с использованием электрода из резины, обернутого оловянной фольгой. Толщина фольги 0,02 мм. Площадь электрода 20×20 мм. Давление на образец при измерении 100 г/см^2, напряжение 100В. Погрешность измерения не более 5 %.

Осмотр внешнего вида образцов проводился визуально. При этом контролировалось наличие трещин, отслоений покрытия, сохранение цвета.

Результаты измерения характеристик образцов показали, что A_s образцов с покрытием равно 0,53…0,36 и зависит от режимов обработки, E_n – 0,8…0,33. Отношение A_s/E_n составляет более 0,5, что соответствует требованиям, предъявляемым к материалам для КА.

Сопротивление поверхности составляет $7{,}1\cdot10^7\ldots8{,}6\cdot10^7{,}1$ Ом/ϒ. Величина поверхностного электрического сопротивления после испытаний незначительно увеличилась на отдельных образцах. Внешний вид образцов после испытаний не изменился.

Испытания на радиационное воздействие проводились на электронном ускорителе ЭЛУ-4 в НИИ интроскопии. Образцы облучались электронами в среде азота до поглощенной дозы $6\cdot10^8$ рад. Средняя энергия электронов в плоскости размещения образцов – 4 МэВ, средняя плотность потока электронов $4{,}2\cdot10^{10}$ см$^{-2}$с$^{-1}$.

Испытание на воздействие термоциклов проводилось в вакуумной камере УКГ-1000 при остаточном давлении не более $5\cdot10^{-6}$ мм рт. ст. Образцы располагались на термостоле, сверху закрывались ЭВТИ. Нагрев и охлаждение осуществлялись за счет теплового контакта и радиационного излучения с поверхности термостола. Нагрев термостола осуществлялся лампами типа КГ-127-1000, а охлаждение – жидким азотом. Скорость нагрева-охлаждения составляла от 5 до 10 градусов в минуту. Излучение от ламп на поверхность образцов не попадало. Температура контролировалась с помощью датчиков типа «термометры платиновые ТП 018-03». Выдержка при крайних температурах в течение 10 мин. Термоциклирование проводилось в диапазоне температур от –150 до +170 ºС в количестве 100 циклов.

Образцы защитных покрытий из алюминиевой фольги АД по ГОСТ 4784–74 с оксидным слоем, нанесенным МДО, выдержали испытания на воздействие радиации дозой $6\cdot10^8$ рад и последующее воздействие 100 термоциклов в вакууме в диапазоне температур от –150 до 170 °С.

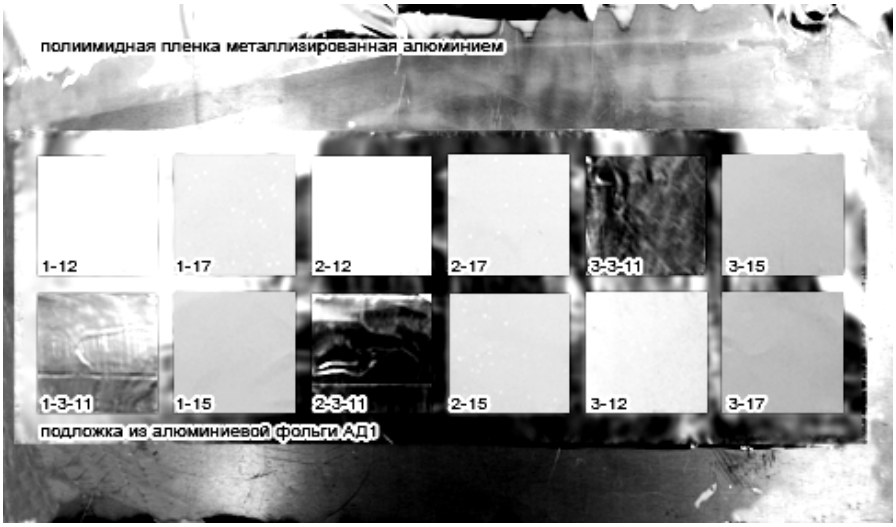
Для испытания МДО покрытия на стойкость к воздействию плазмы отделом материаловедения ОАО «ИСС» была разработана испытательная установка имитационной аргоновой плазмы на базе вакуумной камеры «Булат», которая позволяет сравнивать характеристики стойкости материалов к воздействию плазмы, и на этой основе получать предварительную оценку распыления материалов, выбирать из них наиболее стойкие и рекомендовать их на КА. При проведении испытаний сравнивали стойкость трех материалов: алюминиевой фольги (алюминий покрывает большинство поверхностей КА,) полиимидной пленки (которая в настоящее время используется в качестве защитного покрытия от воздействия плазмы СПД) и алюминиевых образцов с МДО-покрытием (табл. 1).

Из каждого материала были изготовлены по 4 образца размером 30 × 30 мм, которые укладывались в зоне облучения в шахматном порядке (см. рисунок).

Таблица 1

Режимы микродуговой обработки и толщина покрытий

Электролит	Ток анода, А/дм^2	Ток катода А/дм^2	Время обработки, мин.	Толщина образца, мм	Толщина покрытия, мм
KOH – 4 г/л Na_2SiO_3 – 10 г/л $KMnO_4$ – 13 г/л	15	15	40	0,125	0,027
$Na_6P_6O_{12}$ – 40 г/л	15	15	30	0,1	0,022
	15	18	30	0,1	0,008
NaH2PO4 12H2O – 40 г/л Na2B4O7 10H2O – 30 г/л NaF – 10 г/л	15	15	60	0,111	0,013



Подложка с образцами после воздействия плазмы

Режимы испытания в камере «Булат»: ток на катушке соленоида – 2,5 А, напряжение на аноде – в переделах 800 В, ток разряда – 15 мА. Расчетное значение плотности теплового потока, создаваемого плазменной струей ионного источника, составило 0,008 Вт/см^2. Расстояние от столика с образцами до генератора плазмы равно 150 мм. Угол падения ионов на поверхности образцов – около 90°. Длительность обработки – 60 мин.

До и после воздействия пучком ионов на образцы производилось взвешивание образцов на прецизионных электронных весах HR-202, а также измерение толщины контактным способом с использованием многооборотного индикатора (табл. 2, 3). Толщину образцов измерили в нескольких точках, затем вычисляли среднее значение. Процентное значение изменения массы образца в результате распыления плазмой рассчитывали по формуле

$$\Delta M = \frac{M_{\text{до}} - M_{\text{после}}}{M_{\text{до}}} \cdot 100\,\%,$$

где $M_{\text{до}}$ – масса образца покрытия до испытаний, г; $M_{\text{после}}$ – масса образца покрытия после испытания, г.

После воздействия плазмы у образцов алюминиевой фольги с микродуговым оксидированием поверхности внешний вид остался без изменений. Максимально изменились масса и толщина у образцов полиимидной пленки. Образцы МДО потеряли массу большую, чем образцы алюминиевой фольги, что можно объяснить некоторой гигроскопичностью МДО-покрытий. Толщина покрытий практически не изменилась. Исследования показали, что покрытия, полученные методом МДО, могут быть использованы в качестве защитных покрытий на КА.

Библиографические ссылки

1. Исследование загрязняющего воздействия собственной внешней атмосферы и плазмы стационарных плазменных двигателей на космическом аппарате «Экспресс-АМ» / В. А. Смирнов, А. Б. Надирадзе, И. А. Максимов и др. // Вестник СибГАУ. 2006. Вып 2 (9). С. 46–50.

2. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов [и др.]. М. : Экомет, 2005.

3. Технологические возможности микродугового оксидирования алюминиевых сплавов / А. Е. Михеев, [и др.] // Вестник машиностроения. 2003. № 2. С. 56–63.

4. Технология нанесения антиэрозионных покрытий на элементы конструкций космических аппаратов / А. В. Михеев [и др.] // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 4 (30). С. 130–134.

Таблица 2

Изменение массы образцов до и после испытания

Образцы		Масса образцов, г		Изменение, г ($M_{до} - M_{после}$)	ΔM, %
		$M_{до}$	$M_{после}$		
ПМ	1	0,228 37	0,226 79	0,001 58	0,692
	2	0,231 80	0,230 21	0,001 59	0,686
	3	0,238 60	0,237 13	0,001 47	0,616
	4	0,230 80	0,229 51	0,001 29	0,559
Среднее значение				0,001 48	0,638
МДО	1	0,427 91	0,427 28	0,000 63	0,147
	2	0,428 08	0,427 51	0,000 57	0,133
	3	0,467 58	0,466 83	0,00075	0,160
	4	0,451 92	0,450 72	0,000 120	0,265
Среднее значение				0,000 79	0,177
АД1	1	0,419 36	0,419 04	0,000 32	0,076
	2	0,421 35	0,421 04	0,000 31	0,073
	3	0,423 58	0,423 29	0,000 29	0,068
	4	0,425 82	0,425 52	0,000 30	0,070
Среднее значение				0,000 31	0,072

Таблица 3

Изменение толщины образцов до и после испытания

Образцы		Толщина образцов, мм		Изменение ($T_{до} - T_{после}$), мм
		$T_{до}$	$T_{после}$	
ПМ	1	0,097	0,096	0,001
	2	0,105	0,098	0,007
	3	0,103	0,099	0,004
	4	0,100	0,0,97	0,003
Среднее значение				0,003 75
МДО	1	0,100	0,099	0,001
	2	0,100	0,099	0,001
	3	0,125	0,125	0
	4	0,111	0,110	0,001
Среднее значение				0,000 75
АД1	1	0,096	0,095	0,001
	2	0,096	0,095	0,001
	3	0,096	0,092	0,004
	4	0,096	0,094	0,002
Среднее значение				0,002

A. E. Mikheev, A. V. Girn, V. V. Khartov, E. B. Vakhteev, I. V. Evkin

PERFECTION OF TECHNOLOGY OF APPLICATION OF SHEETINGS ON FRAMES OF SC BY MICROARC OXIDATION

The authors investigated factors of storage and running, thermo-radiating and anti-erosive characteristics, electric resistance, and influence of all these factors on the coverings, produced by a method of microarc oxidation (MAO). The investigations have shown that MAO clothing can be used as protective coatings of space vehicles.

Keywords: antierosive coverings, microarc oxidation.

© Михеев А. Е., Гирн А. В., Хартов В. В., Вахтеев Е. В., Евкин И. В., 2011

УДК 629.7.023

А. Е. Михеев, А. В. Гирн, С. С. Ивасев, В. И. Кудымов

ЭЛЕКТРОДУГОВОЕ УПРОЧНЕНИЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Одной из наиболее важных задач в современном машиностроении является улучшение механических характеристик деталей машин и механизмов. Это вызывает необходимость усовершенствования существующих и разработки новых технологических способов упрочнения конструкционных материалов.

Ключевые слова: титановые сплавы, концентрированный источник энергии, электрическая дуга, повышение твердости, износостойкость, коррозионная стойкость.

Титан является одним из самых перспективных материалов для многих отраслей промышленности. Титан и его сплавы используются там, где главную роль играют высокая удельная прочность и хорошая сопротивляемость коррозии, например в авиации, ракетной технике, химическом машиностроении, судостроении и пр. Однако, обладая рядом высоких физико-химических и механических характеристик, титан и его сплавы имеют низкие износостойкость и антифрикционные свойства (склонность к налипанию и образованию задиров), низкое сопротивление высокотемпературной газовой коррозии [1; 2]. В настоящее время для упрочнения поверхности титановых сплавов применяют различные виды химико-термической обработки. Одним из перспективных процессов упрочнения является азотирование поверхности, которое проводят в среде азота или смеси азота с аргоном при температурах 500…950 °С. При азотировании на поверхности изделия образуется тонкий нитридный слой с повышенным сопротивлением износу, высокой усталостной прочностью и коррозионной стойкостью в ряде сред. Однако недостатком этих способов является низкая производительность, высокая энергоемкость и небольшая глубина упрочненного слоя. Повышенные температуры приводят к росту зерна в изделии, диффузии водорода и ухудшению характеристик пластичности и вязкости.

В связи с этим представляет интерес разработка новых технологий, позволяющих при минимальных затратах энергии и времени формировать на титановых сплавах покрытия с высокими триботехническими свойствами.

Анализ современных методов упрочнения поверхности деталей машин показывает, что наиболее перспективным из них является упрочнение с использованием концентрированных источников энергии (КИЭ). Это обусловлено тем, что основным направлением развития новых методов обработки является стремление повысить скорости нагрева, охлаждения и деформации. Это позволяет увеличить концентрацию дефектов кристаллической решетки обработанных материалов, изменить их распределение и в результате улучшить механические и другие важные для техники свойства материалов.

Под концентрированным потоком энергии обычно подразумевают энергетический поток, воздействующий на локальный участок поверхности с плотностью тепловой мощности более 10^3 Вт/см^2. На практике для упрочнения поверхности чаще всего используют лазерное излучение, электронный луч и плазменные потоки [3–5]. Наряду с достоинствами, перечисленные методы упрочнения поверхности имеют ряд недостатков, к которым можно отнести высокую стоимость оборудования и, как следствие, увеличение стоимости обработки. Для снижения себестоимости обработки металлических поверхностей можно использовать сжатую электрическую дугу, которая по плотности мощности сопоставима с плазменной струей [6].

Проведенные ранее исследования по упрочнению стальных и чугунных материалов сжатой электрической дугой в среде инертного защитного газа (аргона) показали эффективность и производительность такой обработки.

Особенностью упрочнения титановых сплавов, в отличие от сплавов железо–углерод, является небольшое повышение твердости поверхностного слоя за счет механизма структурного упрочнения, достигаемого высокоскоростным нагревом тонкого поверхностного слоя до температур, не превышающих температур фазового превращения, и упрочнения путем поверхностной закалки с получением метастабильного фазового состояния. Таким образом, основными механизмами повышения твердости поверхностного слоя при обработке концентрированными источниками энергии являются следующие:

1) упрочнение путем нагрева поверхностного слоя до температур, превышающих температуру плавления, с последующей ускоренной кристаллизацией, при которой достигается образование сверхмелкодисперсной кристаллической структуры, аморфного состояния вещества либо иных метастабильных состояний закристаллизованной поверхности;

2) упрочнение путем поверхностного легирования слоя на основе протекания микрометаллургических процессов в поверхностном расплаве и диффузионного взаимодействия легирующего компонента в слое с основой сплава в результате оплавления поверхности изделия.

Также при обработке титановых сплавов необходимо учитывать их активное взаимодействие с атмосферой.

Целью данной работы является повышение износостойкости и коррозионной стойкости титановых сплавов электродуговым методом.

Предложен способ поверхностного упрочнения титановых сплавов сжатой электрической дугой.

Установка для упрочнения (рис. 1) состоит из сварочной головки *1*, содержащей неплавящийся электрод *2*. Между электродом и обрабатываемым изделием *3* горит электрическая дуга *4*.

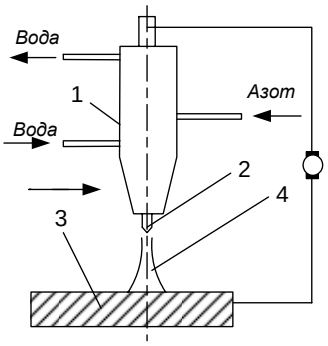


Рис. 1. Схема установки для упрочнения титановых сплавов

Сжатая электрическая дуга, горящая в атмосфере азота, перемещается по обрабатываемой поверхности со скоростью V и осуществляет практически мгновенный локальный нагрев верхнего слоя изделия. Одновременно с нагревом происходит насыщение поверхностного слоя азотом за счет высокой скорости диффузии азота в поверхность титана. В результате сверхскоростного нагрева и охлаждения за счет кондуктивного теплообмена, а также поверхностного азотирования на изделии образуется слой в виде дорожки с высокой микротвердостью и коррозионной стойкостью.

Плотность мощности электрической дуги составляет $q \geq 10^3$ Вт/см^3, сила тока I – 60…200 А, напряжение U – 35…45 В, скорость обработки V – 0,005 … 0,03 м/с, расход азота Q – 50…100 л/мин. Диаметр пятна нагрева при этом составляет 3…8 мм.

Способ позволяет обрабатывать изделия как плоской, так и цилиндрической формы. Обработка может производиться как с перекрытием дорожек, так и с шагом между ними.

Объектом исследования служили титановые сплавы ВТ1-0 ВТ6 и ВТ-16. Образцы представляли собой пластины с размерами 50 × 40 × 7 мм и обрабатывались как с оплавлением, так и без оплавления поверхности.

Микроструктуру и величину зерен изучали на оптическом микроскопе ЛабоМЕТ. Границы зерен выявлялись электролитическим травлением шлифов в растворе следующего состава: HCl – 150 мл, HNO_3 – 150 мл, HF – 150 мл, H_2O – 450 мл.

Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 1 МПа. Износостойкость оценивали на машине трения по величине абразивного износа по стандартной методике.

Коррозионные испытания упрочненных и неупрочненных образцов титановых сплавов проводили в 5%-м растворе HCl в течение шести суток при комнатной температуре.

Исследования структуры упрочненных образцов титана показали, что зона нагрева имеет достаточно четкую границу раздела основного металла и упрочненного слоя (рис. 2).

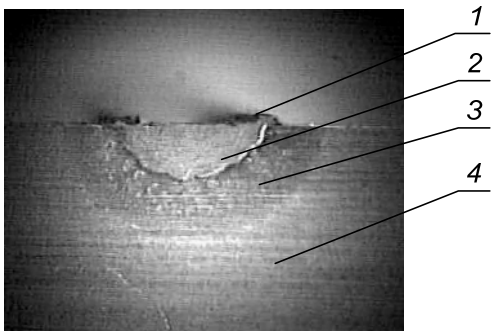


Рис. 2. Поперечный микрошлиф титанового сплава ВТ6

В результате обработки на поверхности титана формируется многослойная структура с высокой микротвердостью, состоящая из слоя нитрида титана *1*, слоя диффузионного насыщения *2* и слоя термического влияния *3*, плавно переходящего в основной объем материала *4*. Поверхностный слой, имеющий характерный золотистый цвет, содержит наряду с нитридом титана включения окисидной и гидридной фазы. Микротвердость составляет от 9…12 ГПа, при исходной микротвердости около 4 ГПа. Глубина упрочненного слоя достигает 1,5 мм (рис. 3). Ширина дорожки за один проход составляет 2…6 мм.

Экспериментально установлено, что при режимах обработки V = 0,005…0,01 м/с и силе тока 100…200 А наблюдается качественная упрочненная поверхность с максимальной глубиной.

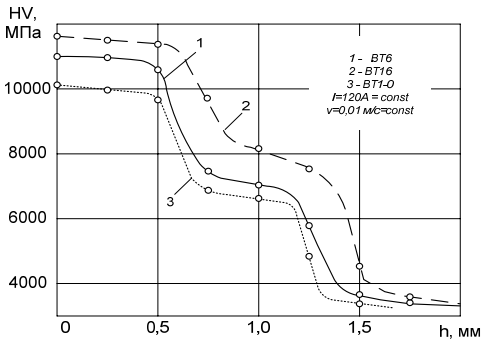
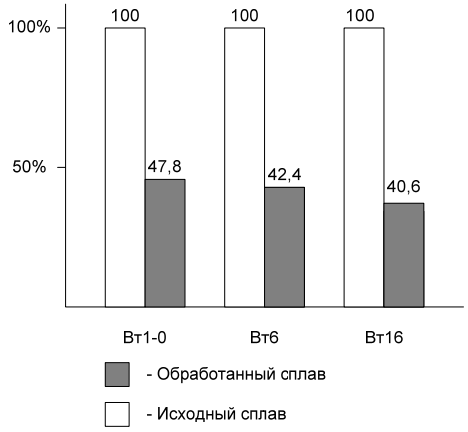
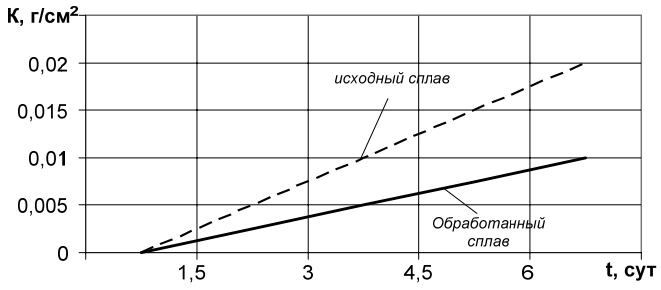


Рис. 3. Распределение микротвердости упрочненного слоя различных сплавов

Максимальная микротвердость поверхностного слоя наблюдается при скорости до 0,01 м/с и силе тока до 120 А. При увеличении скорости обработки более 0,03 м/с и уменьшении силы тока менее 80 А снижается толщина и микротвердость упрочненного слоя вследствие недостаточного времени термодиффузии и невысокой температуры нагрева. При уменьшении скорости обработки менее 0,005 м/с и увеличении силы тока свыше 150 А происходит ухудшение качества поверхности, образование пор и трещин.



а



б

Рис. 4. Результаты исследования износостойкости (*а*) и коррозионной стойкости (*б*)

Оптимальный расход газа 90 л/мин. При меньшем расходе газа уменьшается количество образовавшегося нитрида титана, при большем расходе – нарушается стабильность горения электрической дуги и происходит разбрызгивание расплавленного металла.

На основании оптимального режима были установлены зависимости микротвердости упрочненного слоя по глубине упрочнения для трех сплавов титана: ВТ1-0, ВТ6 и ВТ16 (см. рис. 3).

Исследована износостойкость и коррозионная стойкость образцов с поверхностью, обработанной электрической дугой (рис. 4). Выявлено существенное повышение износостойкости (рис. 4, *а*) и коррозионной стойкости (рис. 4, *б*).

Таким образом, химико-термическая обработка с применением концентрированного источника энергии является перспективным направлением для повышения износостойкости титановых сплавов. Достигнуто увеличение микротвердости в 2,3 раза по сравнению с исходными образцами. Износостойкость увеличилась в среднем на 50 %. Уменьшились коррозионные потери.

Библиографические ссылки

1. Ляхович Л. С. Перспективы химико-термической обработки титана и его сплавов // Защитные покрытия на металлах. 1976. Вып. 10. С. 20–23.

2. Середа Б. П., Палехова И. В. Получение двухкомпонентных покрытий на основе титана методом СВС // Металловедение и термическая обработка металлов. 2003. № 11. С. 30–32.

3. Коваленко В. С., Головко Л. Ф., Черненко В. С. Упрочнение и легирование деталей машин лучем лазера. Киев : Тэхника, 1990.

4. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов : справочник / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. М. : Машиностроение, 1985.

5. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский, С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. И. Комар. Киев : Наука, 1990.

6. Поверхностное упрочнение стальных деталей сжатой электрической дугой / А. Е. Михеев, С. С. Ивасев, А. В. Гирн и др. // Сварочное производство. 2003. № 2. С. 24–27.

A. E. Mikheev, A. V. Girn, S. S. Ivasev, V. I. Kudymov

ELECTROARC HARDENING OF TITANIC ALLOYS

One of the most important problems in modern mechanical engineering is improvement of mechanical characteristics of details of cars and mechanisms. For this reasons there appears a necessity to improve existing and work out new technological ways of constructional materials hardening.

Keywords: titanic alloys, concentrated energy source, electric arc, hardness increase, wear resistance, corrosion resistance.

© Михеев А. Е., Гирн А. В., Ивасев С. С., Кудымов В. И., 2011

Раздел
4

ЭКОНОМИКА

УДК 005:339:338.46

Ю. Л. Александров, Т. А. Клименкова

ФАКТОРЫ И ПРИНЦИПЫ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ СФЕРЫ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ РЫНКА

Отражена актуальность исследований проблем качества в сфере услуг во всех формах его проявления. Систематизированы факторы, определяющие требования к системе управления предприятием сферы услуг. Рассматриваются принципы построения и функционирования системы управления предприятием сферы услуг в условиях рынка. Представлены факторы качества управления предприятием сферы услуг.

Ключевые слова: система управления, услуги, качество, принципы, факторы.

Сфера услуг играет значительную роль, воздействуя на динамику экономических и общественных процессов, функционирование материального производства, создавая возможности для более полного удовлетворения и расширения потребностей людей. Она выступает важным сектором национального и мирового хозяйства, обеспечивая качество экономического роста и повышение конкурентоспособности страны. Особое место здесь принадлежит розничному звену торговой отрасли экономики, представляющему широкий круг самых разнообразных услуг потребителям (рис. 1).

В настоящее время все больше экономических исследований касаются сферы услуг. В развитых странах (США, страны ЕС) сфера услуг формирует около 70 % ВВП и привлекает порядка 80 % экономически активного населения, по праву считаясь движущей силой мировой экономики.

При этом торговля в настоящее время является наиболее значимой отраслью сферы услуг, демонстрируя устойчивые темпы роста объема оборота. Торговля занимает лидирующие позиции по вкладу в российский ВВП, ее доля торговли в добавленной стоимости, созданной в экономике России в последние годы, составляет около 20 %. В секторе торговли работает около половины малых предприятий РФ и примерно пятая часть населения страны. Вместе с тем при сравнении показателя производительности труда в торговле РФ с аналогичным показателем в других странах, выявляется еще нереализованный потенциал его увеличения до 5 раз.

По прогнозным оценкам развитие российского розничного сектора вступит в стадию замедления и упорядочения роста в ближайшие годы [1]. Для этого этапа развития характерно более равномерное территориальное распространение новых для отечественной торговли форматов, рост уровня консолидации отрасли, преобладание современных форматов, высокий уровень розничного предложения и конкуренции. Прирост прибыли будет достигаться за счет повышения эффективности бизнес-процессов, снижения издержек, повышения инновационного характера бизнеса, достижения высокого уровня консолидации отрасли с доминированием современных форматов в условиях развивающейся конкуренции и процесса диверсификации форматов предприятий.

Рис. 1. Предприятие сферы услуг как объект экономических исследований

Отсюда, проектирование систем управления, способных обеспечивать достижение указанных целей и задач, следует осуществлять исходя из основных комплексных характеристик, акценты внимания к которым менялись в течение последнего времени, что и составляет цель настоящей статьи.

Предметом изучения, оценки и поиска более совершенных форм организации деятельности являются комплексные категории деятельности и управления: «производительность», «эффективность», «конкурентоспособность», «качество» (рис. 2). Здесь необходимо отметить, что в настоящее время сфере услуг характерна высокая информационная ассиметричность, широкое использование инсайдерской информации, что говорит о существовании возможностей манипулирования рынком [2]. Степень внимания к ним варьировала под влиянием нескольких факторов, в частности, нарастания объема информации, которую требуется обрабатывать как системе управления, так и отдельному человеку в своей жизни (рис. 2).

Ключевой движущей силой прогресса экономики и общества можно назвать стремительное развитие информационных технологий и массовую компьютеризацию: машины успешно заменяют людей во многих областях производства и обслуживания. Динамике подверглись и требования к бизнесу: если в начале века производство должно было учитывать запросы потребителей по количеству и качеству продукции (минимум), то в дальнейшем к ним присоединились потребности рынка и экономики в целом, поскольку предприятия являются основными хозяйствующими субъектами в экономической системе страны. Сегодня обязательным условием стала также социальная ответственность бизнеса – помощь в решении проблем общественного развития, содействие социальной политике, проводимой органами государственного и муниципального управления. В результате действия указанных сил обнаруживается изменение роли и отношения к человеку в организации, в экономической деятельности: от рядового фактора производства к ключевому ресурсу, капиталу компании, обеспечивающему ее конкурентное превосходство на рынке, а сейчас уже наблюдается трансформация в сторону понятия «талант».

В современных условиях искать решения проблем экономики и управления необходимо, используя, в том числе, и парадигму качества (рис. 3). Причем для экономики на данном этапе эволюции характерно повышенное внимание к обеспечению качества различных объектов: от продукции, товаров до жизни населения и темпов экономического роста страны.

Главным конкурентным преимуществом предприятия при сложившемся высоком уровне конкуренции на потребительском рынке является качество услуг как результат профессионального управленческого воздействия. В рамках исследования были выявлены следующие составляющие услуги: материальная составляющая, стоимость (цена), время и условия оказания услуги, информационное сопровождение, имидж фирмы и фирменное обслуживание (взаимодействие, контакт с потребителем).

Построение и совершенствование управления предприятием сферы услуг должно быть направлено на обеспечение конечного результата – предлагаемой услуги, удовлетворяющей запросы потребителей по всем названным элементам.

Предприятие предлагает на рынке услуги, состав и структура перечисленных компонентов которых дифференцированы, что обеспечивает привлекательность для потребителей. Изменчивость свойств компонентов под воздействием многочисленных внешних факторов, участие потребителя в сервисном процессе обуславливают вариативность качества услуги.

Изучение и обобщение трудов отечественных и зарубежных ученых позволили сгруппировать факторы, оказывающие наиболее значительное влияние на изменение качества услуг и определяющие основные требования к системе управления (табл. 1).

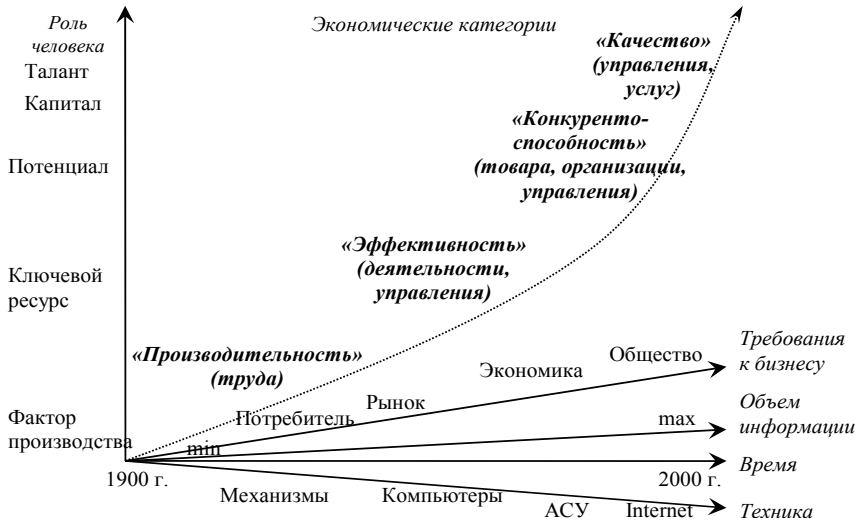


Рис. 2. Динамика внимания исследователей к комплексным экономическим категориям в XX–XXI вв. под влиянием ряда факторов

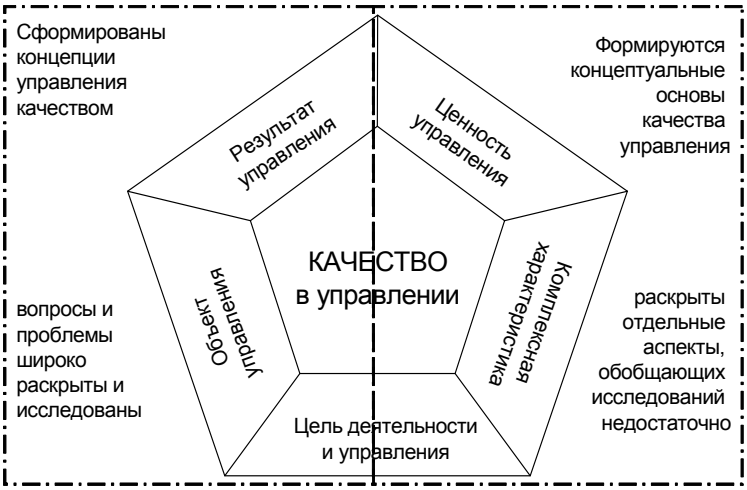


Рис. 3. Формы проявления качества в управлении

Таблица 1

Систематизация факторов, определяющих требования к системе управления предприятием сферы услуг

№	Факторы	Управляемость		Влияние на качество услуг		Характер определенности	
		управляемые	слабоуправляемые	прямое	косвенное	детерминированный	стохастический
	Материальные факторы						
1	Техническая оснащенность предприятия	+			+	+	
2	Состояние интерьеров предприятия	+		+		+	
3	Фирменный стиль сотрудников	+		+			+
4	Информационные материалы (буклеты, проспекты и др.)	+		+		+	
	Факторы надежности процесса оказания услуг						
1	Соблюдение времени оказания услуг	+		+			+
2	Репутация компании	+			+		+
3	Выполнение стандартов процесса оказания услуг	+		+			+
4	Наличие/отсутствие ошибок процессе оказания услуг	+		+			+
5	Дисциплина персонала	+		+			+
	Факторы коммуникаций персонала и клиентов						
1	Оперативность оказания услуг	+		+			+
2	Помощь в решении проблем клиентов		+	+		+	
3	Реализация обратной связи с потребителями	+		+			+
4	Существующая атмосфера между клиентами и сотрудниками компании		+	+			+
5	Обеспечение безопасности процесса оказания услуг для потребителей	+		+		+	
6	Выполнение стандартов делового общения с клиентами	+		+			+
7	Мотивация эффективного обслуживания клиентов	+			+	+	
	Факторы адаптивности процесса оказания услуг						
1	Индивидуальный подход к своим клиентам	+		+		+	
2	Участие сотрудников компании в решении проблем клиентов		+	+			+
3	Знание сотрудниками потребностей своих клиентов		+		+	+	
4	Ориентация процессов на потребности клиентов		+		+		+
5	Удобство режима работы предприятия для потребителей	+		+		+	

Аналитическое рассмотрение выделенных факторов, осуществленное с привлечением экспертов, имеющих непосредственное отношение к проблемам, связанным с экономикой и управлением в сфере услуг, было произведено по таким признакам, как: степень управляемости, влияние на качество услуг, характер определенности.

Результаты проведенной систематизации факторов свидетельствуют о том, что основная их часть является управляемой и оказывает прямое влияние на качество услуг предприятия. Вместе с тем ряд факторов в настоящее время имеет стохастический характер, что объясняется недостаточным вниманием со стороны руководства компаний и создает резервы для повышения качества услуг за счет изменения динамики фактора с вероятностной на детерминированную. Кроме того, отдельные факторы были оценены как слабоуправляемые, что обусловлено недостаточным использованием новых технологий менеджмента в сфере услуг, внедрением в практическую деятельность научных разработок. Таким образом, проведенная систематизация факторов продемонстрировала необходимость построения систем управления, которые будут способны учитывать и воздействовать на перечисленные факторы.

Решение указанной задачи обеспечивается совершенствованием системы менеджмента исходя из развития теории и методологии управленческой науки и особенностей предприятий сферы услуг как объекта управления.

По результатам обобщения научных исследований и существующей практики менеджмента предлагается совершенствовать систему менеджмента, основываясь не только на принципах, критериях, показателях эффективности и конкурентоспособности, но и методических положениях качества управления.

Категория «качество» отражает изменения в уровне развития управления предприятием сферы услуг, предполагает готовность к изменениям, видение будущего, способность учитывать развитие потенциала потребления, изменение запросов потребителей по всем компонентам услуг.

Преобразование управления в соответствии с представленным подходом оказывает непосредственное воздействие на состояние и динамику факторов, влияющих на предоставление услуг предприятием, на параметры качества, эффективности и конкурентоспособности услуг. Качественная и эффективная организация деятельности предприятия услуг приводит к удовлетворению интересов всех участников экономических отношений через оказание качественных услуг, что выражается в конкретных итоговых показателях работы фирмы.

Успешное управление при необходимом качестве услуг позволяет предприятию повысить эффективность деятельности.

Вместе с тем сложность категории «качество» определила необходимость дифференциации подходов к ее использованию для характеристики такого вида деятельности, как управление.

Анализ отечественной и зарубежной литературы, посвященной этому вопросу, показал, что качество управления определяется наличием совокупности собственных характеристик, обеспечивающих достижение поставленных целей. В ряде исследований качество управления рассматривается как фактор создания условий для эффективного функционирования, развития и обеспечения конкурентоспособности организации.

В научных источниках не полностью раскрывается содержание данной категории применительно к таким объектам управления, как предприятия сферы услуг, результат деятельности которых обладает особенностями, что обуславливает необходимость уточнения существующих и разработки новых методических подходов для обеспечения наиболее полного удовлетворения потребностей населения в различных услугах по качеству и цене.

Решить эту задачу можно посредством выявления наиболее актуальных отличительных свойств управления в сфере услуг в современных условиях.

На основе сравнительного анализа научных исследований по вопросам качества менеджмента с учетом специфики предприятий сферы услуг был определен состав характеристик системы управления, формирующих качество управления (табл. 2).

По результатам анализа и обобщения имеющихся дефиниций предложена следующая трактовка исследуемого понятия: качество управления предприятием сферы услуг – способность системы управления за счет совокупности собственных характеристик гарантировать создание и предоставление услуг, соответствующих требованиям потребителей по всем компонентам.

Таблица 2

Характеристики качества управления предприятием сферы услуг

Характеристики	Учет специфики сферы услуг
ориентация на будущее	понимание динамики предпочтений потребителей
лидерство руководства	приоритет неформальных методов управления, как наиболее существенно влияющих на качество услуг
инновационность	развитие инновационных методов обслуживания потребителей, новые услуги
вовлеченность персонала	понимание и участие в достижении качества услуг, т.к. в процессе оказания услуг значительный удельный вес имеет человеческий фактор
внимание к процессам	основной процесс объекта управления – оказание услуг
воспроизводство знаний	высокая роль информации в определении динамики сферы услуг
способность к переменам	изменение образа мышления и образа действий в соответствии с динамикой рыночной ситуации

Представленное определение включает два аспекта:

1) наличие совокупности характеристик: ориентация на будущее, лидерство руководства, инновационность, вовлеченность персонала, внимание к процессам, воспроизводство знаний, способность к переменам;

2) способность обеспечить привлекательную для потребителей услугу по всем компонентам: материальная составляющая, стоимость (цена), время и условия оказания, информационное сопровождение, имидж фирмы и непосредственное обслуживание (взаимодействие, общение с потребителем).

Уточнение понятия «качество управления» для предприятий сферы услуг дает возможность оценивать и проектировать их систему менеджмента таким образом, чтобы после преобразования ресурсов в процессе деятельности на выходе получить услугу, востребованную потребителями, как в настоящий момент, так и в стратегической перспективе.

Таким образом, сложившиеся условия развития сферы услуг ставят задачу повышения качества менеджмента при совершенствовании системы управления предприятием, что является главным условием увеличения качества предлагаемых на рынке услуг с учетом изменения потребностей клиентов. Достижение перечисленных выше характеристик качества управления напрямую зависит от того, насколько они интегрируются в деятельность предприятия сферы услуг и закрепляются в правилах работы. Совершенствование управления предприятием сферы услуг и развитие его качества обеспечивается реализацией принципов менеджмента, раскрывающих его специфику.

Обобщение существующих принципов управления, а также эффективного, конкурентоспособного менеджмента в экономике услуг в современных условиях позволило выделить наиболее актуальные в современных условиях хозяйствования, исходя из необходимости построения управления, обладающего названными характеристиками качества.

Принимая во внимание специфику деятельности предприятий сферы услуг, характер влияния различных факторов на качество ее функций услуг необходимо сформулировать специальные принципы, относящиеся к рассматриваемому понятию качества управления предприятием сферы услуг, направленные на обеспечение заданного качества услуг, в качестве которых мы видим:

1. Принцип сбалансированности системы управления: согласование изменений в управлении предприятием сферы услуг по параметрам качества, эффективности и конкурентоспособности.

2. Принцип синхронности перемен: соотношение скорости внешних и внутренних перемен, готовности к изменениям, посредством прогнозирования изменений на рынке потребительских услуг, выявления новых направлений, проведения своевременных корректировок, включая отказ от бесперспективных видов деятельности, преодоление стереотипов мышления.

3. Принцип распознавания и обогащения средств воздействия: необходимость учета особенностей и компонентов услуги ориентированной на клиента, как результата деятельности и управления, их взаимосвязей, при проектировании технологий управления, а также наиболее полное использование коммуникаций с потребителем услуг (поскольку оказание услуги и ее потребление связаны, а чаще всего происходят одновременно).

4. Принцип учета рисков: отслеживание, контроль и принятие мер по нивелированию фактора инсайдерской информации как средства манипулирования рынком.

Представленные принципы являются дополнением к существующим правилам построения и функционирования системы управления предприятием сферы услуг, что открывает новые возможности совершенствования технологий менеджмента по предложенным характеристикам его качества, предусматривая учет и воздействие на факторы качества услуг.

Для формирования и развития качества управления, проведения адекватных изменений в системе, необходимо учитывать основные его факторы. Их понимание и дифференциация помогают успешному осуществлению управленческого воздействия.

К факторам качества управления, исходя из результатов исследования научных и методических подходов, относятся (рис. 4):

– факторы способностей – потенциал управленцев, методология, организация и ресурсное обеспечение управления. Достижение определенного качества требует затрат. Иногда они могут быть очень высокими, но качество низким, потому что не всегда можно наблюдать непосредственную и прямую отдачу. Они иногда служат лишь последовательному формированию потенциала качества, например, затраты на повышение квалификации управленцев;

– факторы развития ценностей – коммуникации, творчество, стиль и культура управления. Ценности всегда опережают возможности достижения тех или иных свойств. Ценность – это установка на деятельность, это выбор главного, это оценочное сопоставление факторов развития;

– факторы динамики – потребности рынка и стратегия, инновации и информационные технологии. Определяют возможности улучшения и развития качества управления, переход на новый уровень. Качество – это всегда развитие.

Применение в деятельности и управлении предприятиями сферы услуг представленных положений в области качества управления, функционирование и развитие системы управления в соответствии с принципами и факторами качества формируют управленческое воздействие таким образом, что оказывается влияние на повышение качества услуг и улучшение финансово-экономических результатов деятельности предприятия на рынке.

Библиографические ссылки

1. Стратегия развития торговли в Российской Федерации на 2011–2015 гг. и период до 2020 года [Электронный ресурс] / Министерство промышленности и торговли РФ. URL: http://www.minpromtorg.gov.ru.

2. Якимчик Д. А. Актуальные проблемы развития российской торговли в условиях экономического кризиса // Аудит и финансовый анализ. 2009. № 6. С. 367–369.

Рис. 4. Факторы качества управления предприятием

Yu. L. Aleksandrov, T. A. Klimenkova

FACTORS AND PRINCIPLES OF QUALITY OF MANAGEMENT IN ENTERPRISES OF SERVICE INDUSTRY IN CONDITIONS OF MARKET ECONOMY

The article reflects the importance of quality research problems in the service industry in all its forms. The factors, that determine the system requirements for system of management in enterprises of service industry, are systematized. The principles of construction and operation of system of management of enterprises of service industry, in the conditions of market economy, are examined. The factors of quality of management at the enterprise of service industry are presented.

Keywords: management system, service, quality, principles, factors.

© Александров Ю. Л., Клименкова Т. А., 2011

УДК 332.1

Г. П. Беляков

ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ СИБИРИ

Рассматриваются проблемы научно-технологического развития и технологической модернизации экономики регионов Сибири. Обосновывается необходимость создания региональной системы управления научно-технологическим развитием экономики и формирования региональных технологических платформ.

Ключевые слова: научно-технологическое развитие, технологическая модернизация, государственная поддержка, инновационная деятельность, управление, региональные технологические платформы.

Перевод экономики России на инновационный путь развития является одним из ключевых приоритетов общей социально-экономической политики государства и его регионов. В Стратегии социально-экономического развития Сибири до 2020 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 5 июля 2010 г. № 1120-р, стратегической целью развития Сибири определено обеспечение устойчивого повышения уровня и качества жизни населения на основе сбалансированной системы инновационного типа, гарантирующей национальную безопасность, динамичное развитие экономики и реализацию стратегических интересов России в мировом сообществе. Первостепенными задачами, обеспечивающими достижение стратегической цели и приоритетов социально-экономического развития Сибири названы: масштабное технологическое перевооружение в экономике и социальной сфере регионов Сибири на основе исполь-

зования инновационных технологий, максимальное сокращение отставания от достижений мирового уровня в трудо-, материало-, энерго-, капиталоемкости производства, производство качественно новых для России продуктов и услуг.

Такого уровня задачи по модернизации и технологическому развитию экономики регионов в постсоветской экономике ставятся впервые. И это вполне закономерно. Сибирь является не только кладовой страны по минерально-сырьевым и другим природным ресурсам. Она играет огромную роль в промышленном производстве. Здесь сосредоточен достаточно мощный научно-технический потенциал, включающий учреждения Сибирского отделения РАН, значительное число высших учебных заведений, целый ряд предприятий оборонно-промышленного комплекса.

Как и в целом, в России за годы реформ 90-х и начала 2000-х гг. производственная база Сибири практически не обновлялась. Изношенность производственного оборудования превысила 70–80 %, устарела его технологическая структура (доля оборудования с возрастом до 10 лет составляет менее 25 %). Господствующими в большинстве отраслей производства являются третий и четвертый технологический уклады. По оценкам специалистов, на долю пятого технологического уклада приходится менее 4 % промышленного производства, а шестого технологического уклада – менее 1 % (Институциональные проблемы технологической модернизации российской экономики / Г. В. Артамонов [и др.] // Информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 6). Таким образом, технологической модернизации должны быть подвержены практически все отрасли промышленности Сибири.

Масштабность проблемы определяет механизм ее решения. Прежде всего модернизация и технологическое развитие экономики регионов должно опираться и максимально использовать действующие государственные механизмы. Так, в мае 2009 г. образована Комиссия при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России в целях содействия устойчивому технологическому развитию экономики, совершенствованию государственного управления программами модернизации приоритетных сфер экономики.

К числу основных задач Комиссии относятся следующие:

1) рассмотрение вопросов, касающихся выработки государственной политики в области модернизации и технологического развития экономики России;

2) координация деятельности федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, предпринимательского и экспертного сообщества в области модернизации и технологического развития экономики России;

3) определение приоритетных направлений, форм и методов государственного регулирования в целях модернизации и технологического развития экономики России.

Постановлением Правительства РФ от 12 сентября 2008 г. № 667 образована Правительственная комиссия по высоким технологиям и инновациям, основной задачей которой является обеспечение взаимодействия федеральных органов исполнительной власти по разработке и реализации единой государственной политики в сфере развития научно-технического комплекса, национальной инновационной системы, устойчивого технологического обновления экономики Российской Федерации.

Государственная поддержка научно-технологическому развитию экономики осуществляется с помощью федеральных целевых программ. Среди них особую роль в последние годы играют ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.», ФЦП «Национальная технологическая база на 2007–2011 гг.», ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.». Государственная поддержка развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологического производства, определена постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

Правительственная комиссия по высоким технологиям и инновациям решением от 3 августа 2010 г. определила порядок формирования программ инновационного развития и технологической модернизации субъектов естественных монополий и крупных государственных компаний. Утвержден перечень акционерных обществ с государственным участием, государственных корпораций, федеральных государственных унитарных предприятий, разрабатывающих программы инновационного развития и технологической модернизации (всего 55 крупных компаний). Этот порядок уже получил название, как механизм «принуждения» к инновациям. Высказывается предположение, что такая практика будет расширяться и может распространиться на предприятия различной формы собственности. На данном этапе экономического развития это вполне обоснованно. Низкий технологический уровень производства и слабая инновационная активность российских предприятий вызывает необходимость использовать различные рычаги и стимулы для технологической модернизации и инновационного развития экономики.

С целью активизации усилий по выявлению новых научно-технологических возможностей модернизации существующих секторов и формирования новых секторов российской экономики, созданию перспективных коммерческих технологий, новых продуктов (услуг) этим же решением Правительственной комиссии запущен механизм формирования национальных технологических платформ. Правительственная комиссия 1 апреля 2011 г. утвердила перечень 27 технологических платформ по приоритетным направлениям, где Россия имеет все возможности добиться существенного технологического прорыва, объединив усилия и интересы науки, образования, бизнеса, власти,

гражданского общества, и занять лидирующее положение в мире.

Формирование национальных технологических платформ в России опирается на положительно зарекомендовавший себя и получивший распространение в Европе опыт формирования Европейских технологических платформ. В Евросоюзе первыми оценили недостатки разрозненности и фрагментарности исследовательской деятельности на современном этапе развития экономики, недостаточный уровень государственных и частных инвестиций в исследования и разработки передовых технологий, что непосредственно влияет на экономический рост и конкурентоспособность европейского сообщества. Европейская комиссия в 2000 г. выдвинула инициативу создания Европейского научного пространства, а для координации исследований и разработок на общеевропейском, национальном и региональном уровнях и концентрации усилий бизнеса, власти, научного сообщества, университетов, неправительственных организаций документом Евросоюза «Промышленная политика в расширившейся Европе», принятом в 2002 г., было предложено формировать Европейские технологические платформы. К настоящему времени принято 38 европейских технологических платформ.

С точки зрения разрозненности и фрагментарности исследовательской деятельности, не говоря уже об уровне государственных и частных инвестиций в технологическое развитие в России ситуация не лучше, чем в Европе, если не сказать, что намного хуже как в целом по стране, так и особенно в регионах, где практически никто не занимается координацией исследований и разработок в интересах регионального технологического развития. Это вызывает необходимость принимать меры государственной поддержки и государственного регулирования на федеральном уровне, развивать формы и механизмы поддержки и регулирования технологического развития на уровне субъектов Российской Федерации. Речь, собственно, идет о региональном аспекте управления научно-технологическим развитием и технологической модернизацией экономики.

Надо сказать, что пока термины «научно-технологическое развитие экономики региона», «технологическая модернизация экономики региона», звучат непривычно. Обычно деятельность региональных органов власти связывают в основном с социально-экономическим развитием региона, считая технологическое развитие функцией государства и самих предприятий. Вместе с тем социально-экономическое развитие региона самым тесным образом связано с технологическим уровнем отраслей, наличием научно-технического и образовательного потенциала на его территории. Задачи повышения качества жизни населения, устойчивого развития экономики заставляют региональные органы власти искать дополнительные резервы интенсификации процессов регионального развития. Этому способствует и тенденция развития государственного управления экономикой в сторону большей самостоятельности и ответственности регионов.

Недавно принятый Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике» от 20 июля 2011 г. № 249-ФЗ и от 21 июля 2011 г. № 254-ФЗ существенно расширил полномочия органов власти субъектов Российской Федерации в области научной, научно-технической и инновационной деятельности. В настоящее время они обладают следующими полномочиями:

– определять соответствующие приоритетные направления развития науки и техники, осуществлять межотраслевую координацию научной и научно-технической деятельности, разработку и реализацию научных, научно-технических и инновационных программ и проектов субъектов РФ;

– создавать государственные научные организации субъектов РФ;

– принимать законы и иные нормативно-правовые акты субъектов Российской Федерации об осуществлении деятельности органов субъектов РФ в научной и научно-технической сферах и поддержке инновационной деятельности;

– осуществлять финансовое обеспечение научной, научно-технической, инновационной деятельности посредством финансирования организаций, осуществляющих научную, научно-техническую, инновационную деятельность, в том числе целевого финансирования конкретных научных, научно-технических, инновационных программ и проектов;

– создавать государственные фонды поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности субъекта РФ и осуществлять финансовое обеспечение указанных фондов.

Государственную поддержку инновационной деятельности органы власти субъектов РФ могут осуществлять в следующих формах:

– предоставлять льготы по уплате налогов, сборов, таможенных платежей;

– предоставлять образовательные услуги;

– предоставлять информационную поддержку;

– предоставлять консультационную поддержку, содействие в формировании проектной документации;

– формировать спрос на инновационную продукцию;

– осуществлять финансовое обеспечение (в том числе субсидии, гранты, кредиты, займы, гарантии, взносы в уставный капитал);

– реализовывать целевые программы, подпрограммы и проводить мероприятия в рамках государственных программ Российской Федерации;

– поддерживать экспорт;

– обеспечивать инфраструктуру;

– в других формах, не противоречащих законодательству Российской Федерации [3].

Таким образом, необходимая нормативно-правовая база для создания системы регионального управления научно-технологическим развитием экономики есть. С учетом этого, как может быть построена система регионального управления? Исходя из разнообразия регионов, вряд ли может быть единый подход к формированию структуры и методов регионального управления технологическим развитием. Каждый

регион должен подходить к решению этих задач с учетом своих особенностей, традиций, имеющихся ресурсов и потребностей. В тоже время есть некоторые важные направления, которые, на наш взгляд, должны присутствовать при организации региональной системы управления технологическим развитием. К ним могут быть отнесены:

– региональная система научно-технологического прогнозирования;

– региональная система оценки технологического уровня экономики и определения технологических потребностей региона;

– региональные механизмы поддержки и развития научно-технического и образовательного потенциала региона;

– региональные механизмы поддержки инновационной деятельности и технологической модернизации производства, «принуждения» предприятий к инновациям и технологическому развитию;

– формирование региональной инновационной системы;

– формирование региональных технологических платформ как инструментов технологической модернизации экономики.

За исключением вопроса формирования региональной инновационной системы, которым в последние годы достаточно активно занимаются практически все субъекты Российской Федерации, остальные направления для системы регионального управления являются новыми. И это не удивительно. У нас в целом проблемы научно-технологического развития и технологической модернизации российской экономики впервые были рассмотрены на Совете безопасности России в июне 2006 г.

Все предложенные направления связаны между собой. Научно-технологические прогнозы должны стать основой для определения приоритетных направлений развития науки и техники и формирования научно-технического и образовательного потенциала региона. Оценка технологического уровня позволит определить направления и меры по технологической модернизации экономики. Использование органами власти субъектов Российской Федерации мер «принуждения» к инновациям и технологическому развитию через ужесточение стандартов, технических условий и так далее побудит предприятия активнее заниматься технологической модернизацией производства, формировать спрос на инновации. Региональная инновационная система создает условия для технологического развития.

Особое место в системе регионального управления технологическим развитием экономики занимает формирование региональных технологических платформ. Как и европейские, а также национальные технологические платформы, региональные платформы выступают в качестве коммуникационного инструмента на региональном уровне, объединяющем все заинтересованные стороны (наука, образование, бизнес, власть) для решения задач технологического развития и технологической модернизации в определенном секторе экономики.

Формирование региональных технологических платформ позволяет:

– создать механизм взаимодействия науки, образования, бизнеса, государственных структур, разрешающий достигать единого, согласованного понимания ситуации на том или ином направлении технологического развития, принимать на его основе долгосрочные планы развития этого направления с акцентом на НИОКР и внедрение результатов;

– активизировать научные исследования, необходимые для развития современного производства, объединив усилия научных организаций и вузов, привлечь дополнительные источники финансирования НИОКР;

– разработать стратегические планы исследований и разработок исходя из перспектив технологического развития данного направления и интересов развития бизнеса;

– сформировать приоритеты деятельности предприятий, науки, профессионального образования;

– обеспечить целевую подготовку высококвалифицированных кадров, соответствующих новому технологическому уровню экономики региона.

В отличие от национальных технологических платформ, региональные технологические платформы прежде всего направлены на технологическую модернизацию производства и повышение конкурентоспособности предприятий региона.

В совокупности предлагаемые направления развития региональной системы управления являются дополнением к сформированной государственной системе управления технологическим развитием и технологической модернизацией экономики и позволят органам власти субъектов РФ на региональном уровне активно влиять на процессы технологического развития.

G. P. Belyakov

PROBLEMS OF MODERNIZATION AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF ECONOMY OF SIBERIAN REGIONS

Problems of scientific and technological development and technological modernization of economy of Siberian regions are considered in the article. The necessity of establishment of regional management system of scientific-and technological economy development and regional technological platforms formation is proved.

Keywords: scientific-and technological development, technological modernization, state support, innovative activity, management, regional technological platforms.

© Беляков Г. П., 2011

УДК 332.1

Е. В. Белякова

ПРОБЛЕМЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Рассмотрены проблемы экономического развития Красноярского края, предложена методика оценки социально-экономического развития региона.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие; оценка уровня социально-экономического развития региона.

Переход на инновационный тип развития, определенный стратегией развития страны, предполагает трансформацию региональной экономики, что особенно важно для регионов сырьевой направленности, к которым относится и Красноярский край, где инновационный тип развития является единственно возможным для обеспечения конкурентоспособности региональной экономики.

В докризисный период экономика края обеспечивала его эффективное развитие за счет преимущественно сырьевых отраслей, он входил в десятку регионов–доноров, формирующих более 50 % валового внутреннего продукта России и федерального бюджета. В крае сформированы программы социально-экономического развития на среднесрочную и долгосрочную перспективу, одной из которых является программа социально-экономического развития на 2007–2017 гг., подготовленная Институтом региональной политики с привлечением Института энергетики и финансов, Высшей школы экономики и других участников.

На современном этапе экономического развития перед экономикой Красноярского края ставятся следующие задачи: повышение конкурентоспособности регионального продукта, диверсификация производства, создание условий устойчивого развития бизнеса с минимизированным влиянием внешних факторов, перевод экономики на инновационный тип развития и, соответственно, повышение качества жизни населения региона. Реализация поставленных задач осложняется имеющимися в настоящее время проблемами:

1. Сырьевая ориентация экономики приводит к высокой зависимости от конъюнктуры мировых цен. Их рост в период до 2007 г. сменился резким падением в 2008 г. и медленным подъемом в 2009 г.

2. Экономика края сформировалась, в основном, в 70–80 гг. XX столетия. Она была рассчитана на механизм функционирования в условиях низких планово-регулируемых цен, на ресурсную базу и регулируемую тарифную политику (низкая стоимость электроэнергии, практически стабильные транспортные расходы, гарантированность рынков сбыта и т. п.). Исходя из этой концепции в крае размещались крупные энергоемкие производства машиностроения, целлюлозно-бумажной, химической и нефтехимической промышленности. Так, обосновывая необходимость размещения машиностроения в Сибири, Г. Я. Курбатова приводит данные: «Машиностроение Сибири может стать электроемким, высокомеханизированным и автоматизированным производством, причем перевод большинства технологических процессов в машиностроении будет целесообразным при себестоимости 1 кВт· ч электроэнергии в 0,9–1,25 коп., а для некоторых – 0,3–0,8 коп., в настоящее время (1978 г.) себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии (по ГЭС) составляет 0,05 коп., а в перспективе будет еще ниже» [1, с. 221].

3. Предприятия края не претерпели коренных структурных и технологических изменений, оставаясь, в основном, с технологиями 70-х годов, с высоким удельным весом устаревшего оборудования и, соответственно, с высокими издержками. После 1998 г. в крае наметился рост промышленного производства, основой которого стало стихийное создание благоприятных для отечественных производителей условий за счет сравнительно низких цен на экспортную продукцию, за счет расширения внутреннего спроса, роста товарооборота и капиталовложений. Рост промышленного производства отмечался вплоть до 2004 г., сопровождаемый незначительными колебаниями. В настоящее время влияние этих факторов практически исчерпано. Очевидно, что спад промышленного производства можно объяснить многочисленными банкротствами и полным исчезновением либо резким снижением своей производственной деятельности таких крупных предприятий, как: ОАО «Сивинит», ОАО «РТИ» («Сибласт»), ОАО «Красноярские волокна», ОАО «Искра», ОАО «Шелковый комбинат «Шелен», ЗАО Мебельная фабрика № 1, ООО «ДОЗ-2», ОАО «Судостроительный завод» и др. Примером может служить и практическая ликвидация Сосновоборского завода прицепных изделий. Построенный в цепочке с КАМАЗом, в период 90-х гг. завод оказался неконкурентоспособным из-за высоких транспортных издержек, в результате на его месте формируются новые производства. Аналогичная ситуация возникла и с заводами химической и легкой промышленности. После 2008 г. банкротства предприятий продолжаются, но уже под влиянием не только внутренних факторов, но и внешних.

4. Возникает проблема функционирования предприятий несырьевого сектора, которые становятся неконкурентоспособными и подлежат банкротству.

5. Размещение новых предприятий без необходимых кооперационных связей на региональном уровне повышает их издержки, способствует теневому бизнесу и создает проблемы социального характера (низкий уровень заработной платы, социальной ответст-

венности и т. п.). Как уже рассматривалось, основное производство создавалось в регионе в производственной цепочке, например: лес – щепа – целлюлозно-бумажное производство – синтетический каучук – синтетические волокна – шинное производство. Разрушенные взаимосвязи привели к удорожанию производства и, в конечном счете, к ликвидации многих предприятий, а если они сохранялись, то стали маломощными.

6. Возникает проблема кадрового обеспечения действующих и вновь вводимых предприятий. До кризисного периода 2008 г. нехватка квалифицированной рабочей силы ощущалась в стране повсеместно. Рассчитывалась потребность по регионам, шел поиск дополнительных резервов рабочей силы, но значительное сокращение объемов промышленного производства приостановило на время этот процесс. В послекризисный период проблема кадрового обеспечения переходит на новый уровень – во взаимосвязи с перспективами развития отдельных предприятий и отраслей. Одна из проблем – это технический уровень новых предприятий, по своим параметрам отвечающий современным требованиям научно-технического прогресса (пятый и шестой уклады экономики).

Еще в начале 80-х гг., когда реализовывались программы развития новых районов, в развитых странах сложились производственные центры, для которых оказалось характерным рекордно высокое отношение выпуска продукции к численности всего населения таких центров. Для производственных центров была характерна малая численность населения – около 1–2 тыс., редко свыше 5 тыс. жителей, притом что там размещались предприятия мирового значения. При сравнении численности таких центров с их годовой продукцией получалось, что на Лабрадоре или в северо-западной Австралии на 100 тыс. т железной руды приходилось 200 жителей, в лесопильных центрах новых районов Канады на 100 тыс. куб. м. пиломатериалов – 200–300 жителей, а в Томпсоне на 10 тыс. т. никеля – 2–3 тыс. жителей [2, с. 182, 183]. Аналогичная технология кадрового обеспечения и проектирования технического уровня новых производств должна закладываться и в сибирских регионах. Как показывает практика, фактически же целевого управления этим направлением не осуществляется.

Сырьевая база располагается в районах нового освоения, и очевидно, что отсутствие необходимой производственной и социальной инфраструктуры обуславливает и недостаток населения в данных районах. Поэтому проблема кадрового обеспечения выходит на первое место. Решение данной проблемы возможно только при условии размещения самых современных технологий, опирающихся на научно-технический потенциал, созданный как в отечественном секторе отраслей, так и зарубежном при условии совместного получения технологий и оборудования.

Но решение проблемы кадрового обеспечения зависит не только от общего их количества. Следует обратиться еще раз к исследованиям, проведенным Институтом региональной политики. По мнению разработчиков, в ходе реализации только крупных инвестиционных проектов к 2020 г. будет создано 3,2 млн новых рабочих мест. Для обеспечения социальных условий необходимо еще создавать рабочие места в секторе услуг. Таким образом, общее число рабочих мест, которые возникнут к 2020 г. в экономике России, составит около 7 млн. Если рассматривать по этапам, то на первом этапе темпы создания новых рабочих мест будут максимальными – до 500 тыс. человек в год. Уже к 2011 г. большая часть новых рабочих мест будет создана (более 2,8 млн) и в последующее десятилетие 2011–2020 гг. прирост замедлится до 50–100 тыс. новых рабочих мест в год.

Следует учитывать, что эти данные составлены по представленным крупным инвестиционным проектам, но на практике поставлены задачи по созданию среднего класса, развитию малого предпринимательства и достижению числа занятых в них до уровня развитых стран. А это также новые рабочие места, притом что к 2020 г., как показывают расчеты многих исследователей, общая численность населения в России сократится до 138 млн чел., а численность трудоспособного возраста уменьшится до 77,5 млн человек [3, с. 23].

Развитие промышленности края в настоящее время сопровождается рядом системных рисков:

1. Трансформацией большинства промышленных предприятий края в диверсифицированные производства товаров, малозначимых для отраслей края (России) с небольшой долей товаров-импортозаменителей, в состоянии перехода первичного продукта на вторые роли (или полностью невостребованного) и поиска основного продукта для имеющейся технологии и производственных мощностей.

2. Информационной, отраслевой и производственной разобщенностью производителей промышленной продукции края, создавшей негативные условия для развития кооперационных и корпоративных связей.

3. Недостаточно формализованной в условиях региональных и местных сообществ нормативно-правовой базы государственно-частного партнерства, тем самым слабо влияющих на развитие разнообразных инвестиционных соглашений и совместных проектов.

4. Низким уровнем человеческого капитала в структуре экономического потенциала региона, который насчитывает всего 10–11 % в пользу сырьевых и технологических составляющих, и наличия его полного дефицита в ряде новых производств.

5. Кризисным состоянием основной части производственного аппарата промышленности в условиях:

– несовершенства механизма по переоценке основных фондов в условиях инфляции, что существенно повлияло на уровень амортизационных отчислений, являющихся одним из важнейших источников замены (модернизации) изношенного и морально устаревшего оборудования;

– отмены льготных налоговых условий для реинвестирования прибыли в техническое перевооружение промышленных предприятий;

– отсутствия системы, стимулирующей финансово-кредитные институты предоставлять крупномас-

штабные, долгосрочные инвестиции в модернизацию и обновление промышленного производства.

6. Диспропорцией в уровне оплаты труда между производственными и непроизводственными секторами экономики.

7. Несбалансированной с уровнем затрат и цен в промышленности тарифной политикой естественных монополий.

8. Слабой защищенностью отечественных производителей от недобросовестной конкуренции зарубежных.

9. Несовершенством нормативно-правовой базы, обеспечивающей создание условий для эффективной работы предприятий промышленности, включая неадекватность налоговой системы задачам активизации инновационно-инвестиционной деятельности в промышленности.

Таким образом, для того чтобы регион мог решать поставленные перед его экономикой задачи и обеспечить самодостаточность, он должен максимально эффективно использовать свой ресурсный потенциал, определяясь в отраслевой структуре.

Одним из важнейших объективных факторов, влияющих на уровень социально-экономического развития региона, является геополитическое положение региона и его территориальная принадлежность к тому или иному макрорегиону, которыми в России являются федеральные округа. В свою очередь, при оценке развития города или района важным фактором становится уже их расположенность в конкретном регионе, ведь город или район развиваются не в «безвоздушном пространстве», а в данном регионе, обладающем, в свою очередь, определенными позитивными и негативными характеристиками, которые необходимо учитывать при разработке стратегии, программ, проектов местного развития. Поэтому так важно начинать оценку уровня социально-экономического развития с рассмотрения основных черт, присущих региону, и охарактеризовать его путем оценки уровня экономического развития, профильности, специализации, особенностей социальной политики и уровня жизни населения. Методика оценки уровня социально-экономического развития региона включает следующие этапы (см. рисунок):

Этап 1. Сбор информации, характеризующей регион. Рассматриваются основные черты, профильность, специализация региона.

Этап 2. Анализ регионального рынка. Основной целью данного этапа является определение регионального спроса и регионального предложения и выявление причин возникновения диспропорций между ними.

Приоритетом в определении уровня развития региона является население региона, поскольку именно здесь люди реализуют свои экономические интересы и удовлетворяют потребности [4]. В связи с этим в понятие уровня развития региона включаются два основополагающих момента:

– необходимость достижения высокого уровня жизни населения;

– эффективность функционирования хозяйственного механизма региона.

В настоящее время в основе хозяйственного механизма региона находится региональный рынок с учетом определенной законодательством регулирующей роли федеральных и местных органов власти. Поэтому под уровнем социально-экономического развития региона следует понимать степень существующего благоприятного бизнес-климата, созданного на основе эффективного использования имеющегося в регионе ресурсного потенциала с целью обеспечения высокого уровня качества жизни населения.

Этап 3. Определение комплексного показателя уровня социально-экономического развития региона. Третий этап разработанной методики заключается в определении комплексного показателя уровня социально-экономического развития региона, проведения анализа динамики этого показателя, что позволит выявить те его составляющие, которые оказывают наибольшее влияние на уровень развития региона.

Этап 4. Графическое представление результатов. Следующим шагом, в дополнение к проведенному исследованию, полученные результаты предоставляют в графической форме, отражающей динамику комплексного показателя социально-экономического развития региона в *n*-м году. При этом нужно отметить, что низшая точка на графике свидетельствует о наиболее высоком уровне развития региона в этом году.

Этап 5. Оценка влияния управленческой технологии на уровень социально-экономического развития региона. На пятом этапе при оценке влияния управленческой технологии инновационного развития региона на его социально-экономическое развитие предполагается обоснованный выбор перспективной управленческой технологии, ее анализ, на основе которого составляются программы дальнейшего ее развития. Далее необходимо провести экономическую оценку по степени влияния выбранной технологии на уровень социально-экономического развития региона.

Предложенная методика позволяет оценить не только уровень социально-экономического развития региона, но и влияние выбранной и реализуемой управленческой технологии на уровень развития региона. Данный подход может использоваться при разработке стратегии, программ, проектов регионального развития.

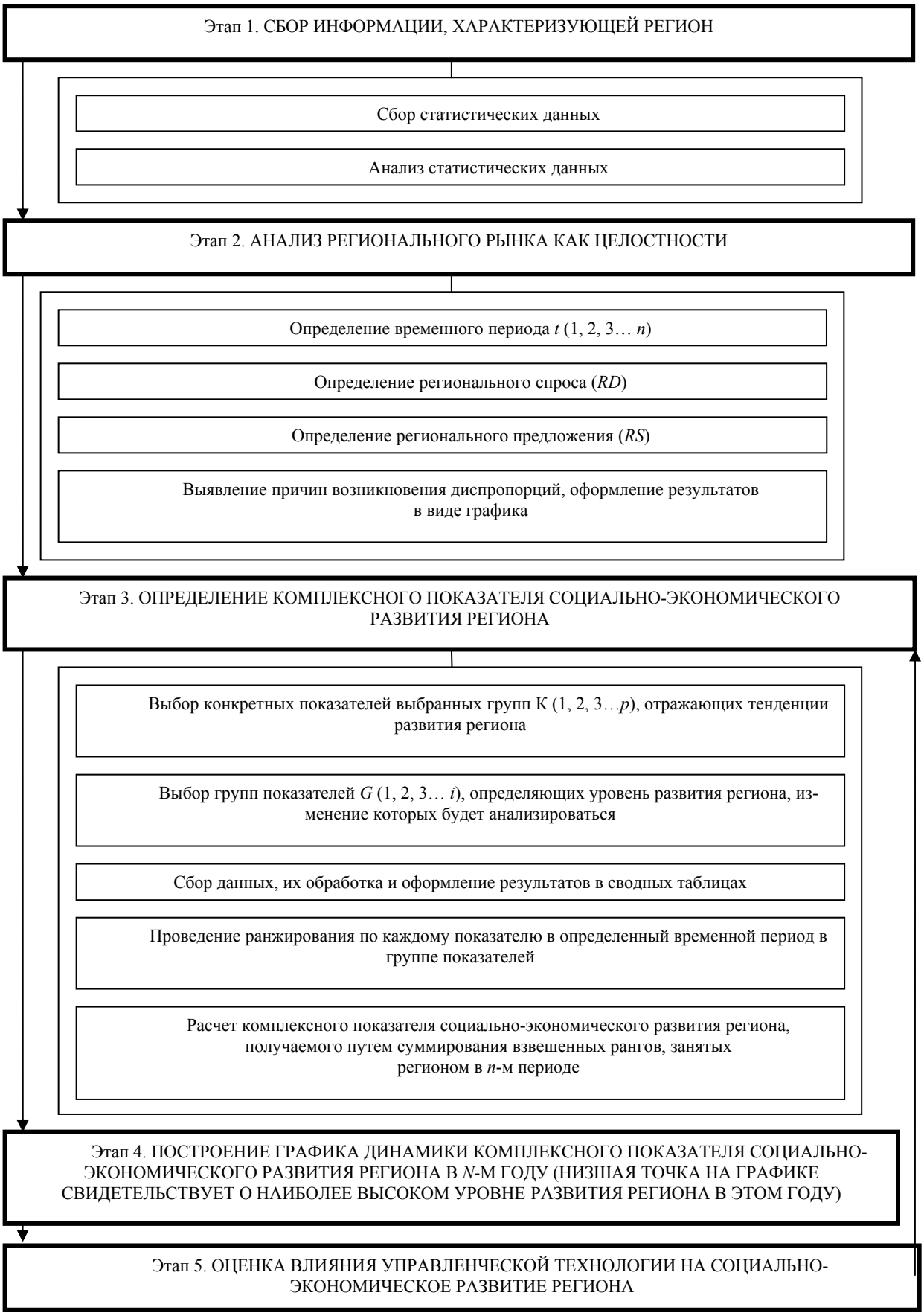
Библиографические ссылки

1. Развитие народного хозяйства Сибири : монография / под ред. А. Г. Аганбегяна М. К. Бандмана, Б. С. Захаркина и др. Новосибирск : Наука, 1978.

2. Карпов Л. Н. Новые районы в экономике развитых капиталистических стран. М. : Мысль, 1972.

3. Проект 2020: комплексные эффекты новой индустриализации России : офиц. докл. V Краснояр. экон. форума / Институт региональной политики. Красноярск, 2008.

4. Карлик А., Комаров А. Промышленная политика и развитие регионов // Проблемы теории и практики управления. 2005. № 3. С. 66–71.



Этапы методики оценки социально-экономического развития региона

E. V. Belyakova

PROBLEMS OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE REGION

The article considers the problems of economic development of Krasnoyarsk Region and methodology for assessment of its socio-economic development.

Keywords: socio-economic development, assessment of level of socio-economic development of the region.

© Белякова Е. В., 2011

УДК 332.1.001.76

Е. В. Белякова, Е. Н. Головенкин

МЕТОДИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Предложен методический инструментарий формирования и реализации отдельных управленческих технологий инновационного развития территорий.

Ключевые слова: управленческие технологии, инновационное развитие региона.

Проблема перехода экономики страны на инновационный путь развития особо обострилась во время разразившегося мирового финансового и экономического кризиса, который отразился самым негативным влиянием на сырьевые отрасли экономики. Очевидной стала задача по диверсификации отраслей экономики и обеспечения ее конкурентоспособности. Накопившиеся за последние десятилетия проблемы: устаревшее оборудование, неразвитость инфраструктуры, низкий удельный вес наукоемкой продукции, высокая энергоемкость ВВП, при переходе на рыночные отношения не нашли практической реализации. Денежные средства, получаемые в сырьевых отраслях при непрерывном до 2008 г. росте цен, не использовались для создания продукта с высокой добавленной стоимостью. В результате – низкая конкурентоспособность на мировых рынках.

Положительным является то, что эти проблемы осознаются на государственном уровне, и создается механизм формирования национальной инновационной системы: выделены критические направления научно-технического прогресса, созданы особые экономические зоны, утверждены технопарки и финансовые институты, созданы госкорпорации по важнейшим направлениям и т. п. Многие регионы активно участвуют в развитии инновационных процессов на своих территориях. В тоже время существует много проблем с реализацией поставленных перед экономикой задач: существует разрыв между созданием научного продукта и процессом его реализации, недостаточен уровень финансирования фундаментальных исследований, не меняется соотношение по структуре финансирования создания наукоемкой продукции (незаинтересованность бизнеса), локальность отдельных решений и отсутствие действенного механизма управления инновационным развитием.

При наличии многочисленных научных исследований, посвященных проблеме инновационного развития на разных уровнях управления, существуют проблемы, требующие дальнейшего изучения, особенно в сочетании с оценкой процессов, происходящих в мировой экономике. В этой связи выделение особого ресурса – управленческие технологии инновационного развития на региональном уровне – требует методологического и теоретического обоснования условий его формирования, определения специфики адаптации и практической реализации.

Под управленческими технологиями мы понимаем технологии, которые способствуют снижению издержек производства в разных источниках их возникновения, но осуществляются через принятие решений на региональном уровне. Управленческие технологии инновационного развития территорий должны обеспечивать концентрацию ресурсов на приоритетных направлениях и создавать условия для межрегиональной кооперации и стратегического партнерства власти, бизнеса и общественных институтов в рамках инновационного развития. Отсюда можно выделить требования отнесения управленческих технологий к инновационным: технологии, дающие значительный прирост ВРП; содействие повышению конкурентоспособности региональных предприятий; рациональное использование ресурсной базы региона; рост добавленной стоимости за счет инициирования создания наукоемкой продукции.

К условиям эффективного функционирования управленческих технологий инновационного развития региона нами отнесены следующие положения:

– должен быть достаточным масштаб охвата участников инновационных структур, формируемых для реализации технологий;

– необходима высокая степень влияния экономической деятельности участников на региональную экономику;

– необходимо свободное вхождение в состав участников, и должны быть возможности расширения границ инновационных структур;

– необходимо создание различных форм координационных органов, формируемых участниками на добровольной основе;

– необходимо свободное вхождение в инновационные структуры пользователей предоставляемых услуг;

– обязательно должно быть наличие общего экономического интереса у участников новых инновационных структур.

В настоящее время имеются все возможности изучения опыта, накопленного в зарубежной практике. В течение десятилетий совершенствовались методы регионального управления в жесткой конкурентной среде, многие регионы страны также уже накопили определенный опыт современных методов регионального управления. Источниками таких технологий могут быть научные подразделения, занимающиеся совершенствованием территориального управления, подразделения администрации регионов, общественные объединения, имеющие возможность изучения данных технологий, представители законодательной власти и другие субъекты региональной экономики. Результатом изучения такого опыта может стать база данных управленческих технологий инновационного развития региона.

Необходимо отметить, что модели экономических систем постиндустриального общества и России значительно отличаются по составу элементов, по структуре инновационных процессов, а также поставленным целям, поэтому простой перенос тех или иных зарубежных подходов, технологий в инновационном управлении на российскую почву достаточно часто не оправдывается. В связи с этим для дальнейшей оценки возможности и необходимости использования инновационных технологий следует провести их качественный и количественный анализ и оценить влияние на эффективность системы инновационного управления регионом. Здесь необходимо определить целесообразность каждого мероприятия в соответствии с поставленными задачами, возможность его реализации и требуемые ресурсы. Оценка влияния на региональную экономику осуществляется исходя из оценки входящих субъектов, предприятий отдельных отраслей, возможностей влияния на их экономические показатели, расширения масштабов деятельности, экспортного потенциала и т. п. На основе результатов оценки и координированности мероприятия с другими региональными, а, возможно, и с федеральными программами принимается окончательное решение о включении технологии в разрабатываемый проект системы инновационного развития в регионе (рис. 1).

Изучение условий реализации инновационных технологий управления регионом является основным (рис. 2). Если нет необходимых условий для внедрения, то может произойти искажение технологий или получится негативный результат.

При изучении условий необходимо провести исследование организаций региона с целью выявления среди них инновационно-активных. Как показывает опыт других регионов (Томская область, Нижегородская и др.), использование сведений федеральных форм № 4 – инновация «Сведения об инновационной деятельности организации» и № 2 МП – инновация «Сведения о технологических инновациях малого предприятия (организации)» статистики явно недостаточно, в связи с этим необходимо провести дополнительные региональные исследования. Выборка инновационно-активных организаций в регионе должна формироваться вне зависимости от их размеров и видов экономической деятельности по принципу наличия у них хотя бы одного из следующих признаков инновационных процессов: наличие выручки от производства и реализации наукоемкой продукции (услуг) и/или инновационной продукции, а также оказание услуг инновационного характера; затраты на разработку и внедрение инноваций; наличие поддерживаемых патентов и лицензионных соглашений по использованию технологий; кооперация со сторонними организациями по разработке и внедрению инноваций [1]. Формирования профиля инновационной активности региона происходит по итогам анкетирования предприятий региона и обработки до 150 показателей федеральной и региональной статистики.

Далее анализируется ресурсное обеспечение, при этом акцентируется внимание на значимость административного ресурса, который во многом определяет динамику развития региона.

Не менее важным является анализ заинтересованных сторон или стейкхолдеров, который может включать следующие этапы:

1) определение ключевых заинтересованных сторон;

2) оценка интересов стейкхолдеров;

3) оценка влияния и значимости заинтересованных сторон на процесс реализации управленческой технологии инновационного развития территорий.

Для выявления заинтересованных сторон можно провести, например, анализ упоминаний лиц в прессе, рейтингов предприятий или провести собственное исследование, в результате чего составляются списки организаций и лиц, которых необходимо вовлечь в работу над выбором той или иной управленческой технологии инновационного развития региона. При этом необходимо учесть, что к стейкхолдерам могут относиться и люди, которые живут за пределами региона, но имеющие определенный интерес (например, имеют свой бизнес или планируют его открытие) в жизнедеятельности данной территории. В целом можно выделить такие группы заинтересованных сторон, как население региона, ученые, эксперты, некоммерческие организации, общественные организации и объединения, политические партии и движения, представители бизнеса, банковские учреждения, потенциальные инвесторы и др.

Рис. 1. Этапы анализа имеющихся управленческих технологий инновационного развития региона

Рис. 2. Этапы методики изучения условий применения управленческих технологий инновационного развития региона

На втором этапе анализа заинтересованных сторон происходит разделение их на два блока – возможных сторонников и противников – в зависимости от того, какое влияние на них окажет решение проблемы. При этом необходимо также проанализировать, в чем будут состоять выгоды и потери для стейкхолдеров. Кроме того, важно учесть какими ресурсами обладают заинтересованные стороны, и дать оценку их значимости в вопросах реализации управленческих технологий. В соответствии с полученными результатами можно определить, какие интересы стейкхолдеров вступают в конфликт с целями реализации управленческой технологии, и разработать меры по их предвидению или смягчению.

Следующим шагом определяются возможности заинтересованной стороны, с помощью которых она

может повлиять на решение проблемы. Такие возможности характеризуются статусом, степенью организованности, мерой неофициального влияния заинтересованных сторон и т. д. Все это в совокупности, а также участие стейкхолдера в той или иной степени в решении проблемы, определяет его значимость. Необходимо отметить, что каждая управленческая технология формирует свой круг заинтересованных сторон.

При разработке программы реализации управленческих технологий инновационного развития региона необходимо создать организационные структуры, которые могли бы направлять и отслеживать процесс ее реализации (рис. 3). Кроме подразделений местной власти существует множество организационных структур, участвующих в реализации местной экономической политики. Среди них можно отметить агентства регионального развития, которые нашли широкое распространение в развитых странах как важнейший инструмент общественно-частного партнерства в реализации программ развития местной экономики.

Для проблемных территорий могут создаваться дополнительные организационные структуры для содействия их развитию, задача которых – использовать ресурсы территории с максимальной выгодой и обеспечить координацию всех инвестиций, стать инструментом сотрудничества бизнес-структур, местных властей и местных жителей. На основе проведенных исследований принимаются решения о формировании отсутствующих элементов инновационной инфраструктуры.

Исходя из собранной информации и проведенной классификации заинтересованных сторон далее разрабатывается стратегия их вовлечения в разработку и реализацию программы. При этом необходимо учитывать:

– интересы, значимость и влияние каждой из заинтересованных сторон;

– необходимость принятия специальных мер для вовлечения значимых заинтересованных сторон, не имеющих влияния;

– необходимость использования соответствующих форм участия.

Процесс вовлечения заинтересованных сторон может включать следующие стадии:

1) подготовительная, где организуется информирование заинтересованных сторон о существующей проблеме, приводятся примеры ее решения в различных городах, регионах из российской и мировой практики;

2) разработка программы. На данной стадии заинтересованные стороны участвуют в анализе, обсуждении проблемы, в ходе которых вырабатываются и дополняются формулировки программы использования инновационных технологий в управлении регионом. После чего происходит утверждение данной программы;

3) реализация программы, которая предполагает не только выполнение отдельных ее составляющих, но и постоянное пополнение документа новыми инициативами.

В зависимости от вида/группы заинтересованных сторон и целей, реализуемых на разных стадиях процесса их вовлечения, используются различные формы работы: публикации в СМИ, деловых изданиях, адресная рассылка документов и информационных материалов, создание и обновление интернет-сервера, проведение «круглых столов», семинаров, конференций, сбор и учет предложений и замечаний и др. Только добившись заинтересованного участия в разработке, выборе управленческих технологий для инновационного развития региона и общей согласованности со всеми заинтересованными сторонами, можно надеяться на их успешную реализацию.

Заключительным шагом является формирование системы мониторинга и оценка реализации управленческих технологий инновационного развития региона (рис. 4).

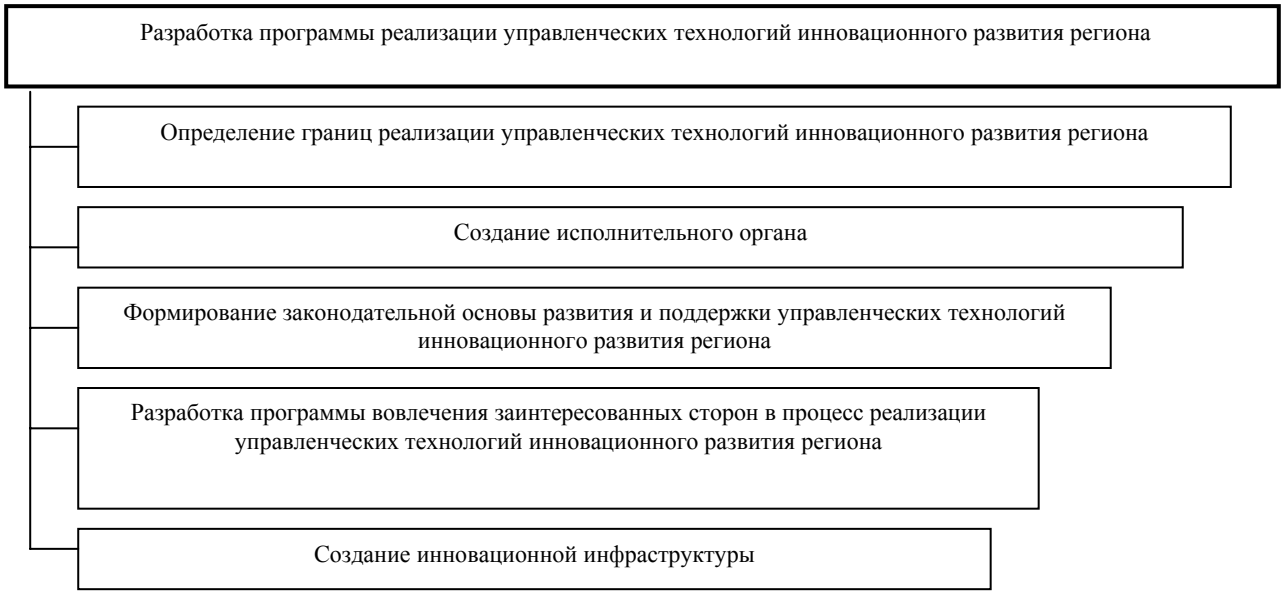


Рис. 3. Элементы разработки программы реализации управленческих технологий инновационного развития региона

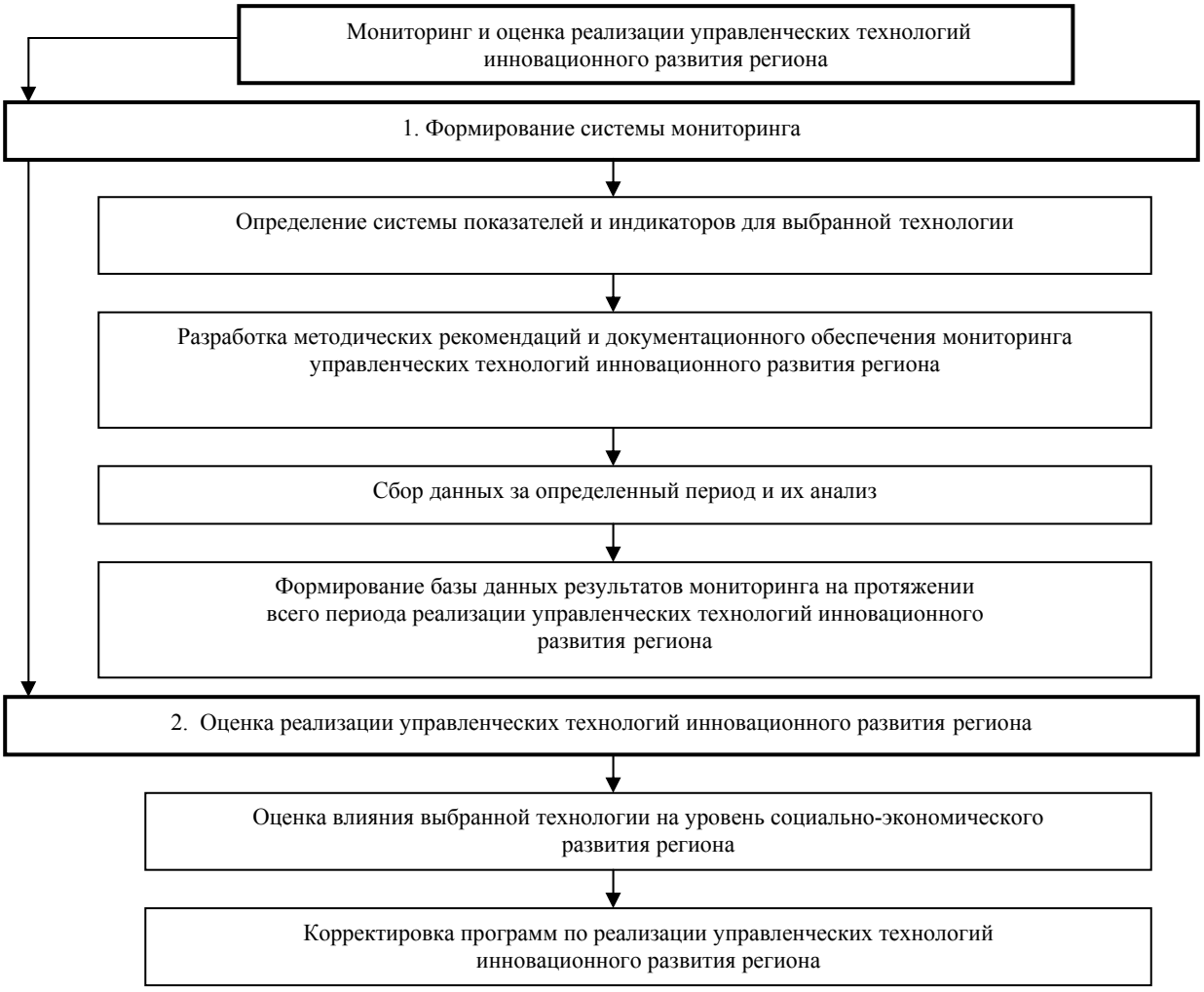


Рис. 4. Этапы методики мониторинга и оценки реализации управленческих технологий инновационного развития региона

Как известно, под мониторингом понимается специально организованное систематическое наблюдение за состоянием объектов, явлений, процессов с целью их оценки, контроля или прогноза [2]. С позиции поставленной проблемы под мониторингом будем понимать систему наблюдения, анализа, оценки, прогноза инновационного развития региона, подготовки проектов управленческих решений, направленных на поддержание позитивных тенденций и ослабление негативных.

Цель мониторинга сводится к обеспечению качественной, т. е. полной, достоверной и своевременной информацией органы управления о процессах, связанных с реализацией управленческой технологии инновационного развития региона.

В задачи мониторинга могут входить следующие задачи:

1) организация наблюдения, получения достоверной и объективной информации о протекании производственных, социальных и других процессов, связанных с реализацией инновационных технологий управления регионом;

2) оценка и системный анализ получаемой информации, выявление причин, влияющих на характер протекания данных процессов;

3) обеспечение всех заинтересованных сторон информацией, полученной в ходе мониторинга;

4) разработка прогнозов развития территории и подготовка рекомендаций для органов управления по преодолению негативных и поддержанию позитивных тенденций.

При организации мониторинга следует руководствоваться научными принципами, среди которых особо нужно выделить следующие:

1. Комплексность. Мониторинг отдельных сфер и направлений развития региона должен осуществляться во взаимосвязи друг с другом.

2. Системность. При организации мониторинга регион рассматривается как крупная общественная система, взаимодействующая с другими территориальными звеньями.

3. Целенаправленность. Данный принцип предполагает определение и структурирование целей и задач, соответствующих предмету исследования и учи-

тывающих особенности объекта. Четкое следование данному принципу позволит предохранить от ненужной информационной избыточности.

Среди других принципов проведения мониторинга следует учесть: непрерывность наблюдения за объектами; периодичность снятия информации о происходящих изменениях; сопоставимость применяемых показателей мониторинга во времени; постоянное совершенствование системы мониторинга.

Качество мониторинга, оцениваемое по степени достижения поставленной цели, зависит от входной информации (ее толерантности, репрезентативности и своевременности) и методов обработки данных (мобильности, адекватности, адаптивности и быстродействия). Основной проблемой проведения мониторинга может служить несовершенство государственной системы статистики инновационного развития региона, которая не предусматривает системную оценку инновационного потенциала, формирования региональной инновационной инфраструктуры, оценки влияния на развитие инновационной среды новых институтов и механизмов взаимодействия государства и бизнеса в сфере инноваций.

Предлагаемый подход позволит региональным органам управления определить приоритетные технологии инновационного развития для конкретной территории и разработать программу по их реализации с учетом интересов всех стейкхолдеров.

E. V. Belyakova, E. N. Golovenkin

METHODOLOGICAL INSTRUMENTS OF THE FORMATION AND REALIZATION OF MANAGERIAL TECHNOLOGIES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF REGIONS

Methodology of creation and realization of some managerial technologies of innovative development of the territories is presented.

Key words: managerial technologies, innovative development of a region.

© Белякова Е. В., Головенкин Е. Н., 2011

УДК 338.45

А. А. Бойко

МЕТОДЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ

Рассмотрены методы стратегического планирования инновационного воспроизводства основных производственных фондов, проводится анализ их достоинств и недостатков.

Ключевые слова: воспроизводство, стратегическое планирование, методы.

Стратегическое планирование развития предприятия представляет собой сложный многоступенчатый и итеративный процесс, в ходе которого должен решаться обширный круг различных социально-экономических и научно-технических проблем, для чего используются самые разнообразные методы. В связи с этим возникает необходимость определить, какие методы могут применяться в стратегическом планировании инновационного воспроизводства основных производственных фондов (ОПФ) предприятий. В теории и практике плановой деятельности за прошедшие годы накоплен значительный набор различных методов разработки планов. По оценкам ученых насчитывается свыше 150 различных методов планирования; на практике же в качестве основных используется лишь 15–20 [1]. Поэтому рассмотрим только основные методы, применяемые при планировании развития ОПФ предприятий.

Различают следующие основные методы стратегического планирования [1]:

– расчетно-аналитические, к числу которых можно отнести балансовый, нормативный;

– графо-аналитические, например экстраполяционные (трендовые), сетевые, регрессионно-аналитические, методы корреляционных трендов;

– экономико-математические, в том числе методы линейного, нелинейного и динамического программирования, модели теории игр и теории массового обслуживания, имитационные модели;

– эвристические, к которым относятся методы экспертной оценки (индивидуальной, коллективной, систематической, массовой и др.), метод сценариев.

Каждый из указанных методов включает десятки, а то и сотни разновидностей, приемов и способов расчета.

Балансовый метод планирования основывается на взаимной увязке ресурсов, которыми будет распола-

гать предприятие, и потребностей в них в рамках планового периода [2]. Если ресурсов по сравнению с потребностями недостаточно, то происходит поиск их дополнительных источников, позволяющих покрыть дефицит. Необходимые ресурсы можно привлекать со стороны, а можно находить в собственном хозяйстве путем его рационализации.

Балансовый метод планирования стал еще в первой половине прошлого века методологической базой системного подхода к управлению. Он позволил решать многие проблемы на основе всестороннего анализа целей, количественного сравнения затрат и результатов, эффективности и выявлять степень риска каждого из путей решения проблем, искать внутренние резервы и ресурсы для улучшения работы. Балансовый метод реализуется через составление системы балансов – натурально-вещественных, стоимостных и трудовых.

В планировании воспроизводства ОПФ предприятия широко применяются натурально-вещественные и стоимостные балансы. К ним относится, например, баланс производственных мощностей, баланс времени работы оборудования и баланс оборудования.

Баланс производственных мощностей – специальный баланс, отражающий изменение мощности в зависимости от состояния, особенностей воспроизводства и степени использования оборудования или других видов средств труда, определяющих выпуск продукции. Составляются отчетные и плановые балансы производственных мощностей. Производственная мощность рассчитывается по предприятию и подразделениям. Размер мощности периодически уточняется в зависимости от внедрения новой техники, изменения номенклатуры и ассортимента продукции и режима работы (сменность, загрузка оборудования и т. д.).

Баланс производственных мощностей составляется для увязки между планируемым объемом продукции и необходимыми производственными мощностями, он позволяет обосновать план выпуска продукции показателями использования мощностей и способствует выработке наиболее рационального направления капитальных вложений.

Баланс времени работы оборудования – система показателей, характеризующих время работы и бездействия оборудования. За ресурсы времени может быть принят календарный и режимный фонд времени. Использование ресурсов характеризуется временем работы оборудования и временем его бездействия.

Баланс оборудования – баланс, в котором сопоставляются наличные основные средства с учетом их износа и выбытия и вновь вводимые средства на предмет достижения соответствия основных средств потребностям в них, диктуемым объемами производства. Составляется в целях определения показателей воспроизводства (выбытия, обновления) основных средств.

Преимущества балансового метода планирования – его простота и наглядность. Кроме того, балансовый метод обеспечивает единство планирования на всех уровнях управления предприятием; координацию и согласованность плановых показателей различных разделов; выявление и устранение узких мест и диспропорций; вскрытие резервов в развитии отдельных производств и их дальнейшее использование при решении плановых задач; установление необходимых пропорций и темпов развития различных подразделений и служб предприятия.

Однако балансовый метод только формирует итоговые результаты исходя из заданных параметров, но не фиксирует зависимостей их от исходных данных, не устанавливает критериев выбора оптимального варианта, не дает конкретных рекомендаций – в каких случаях и при каких условиях применение того или иного варианта наиболее эффективно.

Следует также отметить, что в балансе могут отсутствовать некоторые показатели, необходимые для планирования тех или иных вариантов воспроизводства ОПФ.

Другим методом планирования является *нормативный*. Он состоит в том, что в основу плановых заданий на определенный период (а соответственно и в основу балансов) кладутся нормы затрат различных ресурсов на единицу продукции (сырья, материалов, оборудования, рабочего времени, денежных средств и т. п.) [2]. Таким образом, нормативный метод планирования применяется как самостоятельно, так и в качестве вспомогательного по отношению к балансовому методу.

Нормы и нормативы, используемые при планировании, могут быть натуральными, стоимостными и временными. Натуральные нормы отражают расход материальных ресурсов (сырья, материалов, энергии и т.п.) для производства единицы продукции. Стоимостные нормы отражают или затраты ресурсов в обобщенном виде; или такие затраты, которые иначе как в денежной форме выразить нельзя, например амортизацию; или чисто денежные расходы, скажем, расценки на изготовление единицы продукции. Нормы времени выражают его затраты на выполнение тех или иных работ и их отдельных элементов.

Нормирование ресурсов, и прежде всего материальных, осуществляется тремя основными способами: отчетно-статистическим, опытно-производственным и аналитико-расчетным.

При планировании воспроизводства основных фондов рассчитываются следующие нормативы: норматив затрат на амортизацию оборудования; норматив затрат на ремонт оборудования; норматив дополнительных затрат, обусловленных капитальными вложениями; нормативы приведенных затрат, приходящихся на час работы оборудования.

Достоинства нормативного планирования:

– нормативы дают возможность составлять детальные бюджеты. Без системы нормативов практически невозможно добиться согласованного движения всех ресурсов в процессе производственной деятельности организации;

– без нормативов невозможно провести детализированный анализ выполнения плана. Калькулирование по нормативным затратам позволяет рассчитать

отклонения фактических показателей от плановых и, таким образом, определить проблемные области, требующие со стороны руководства особого внимания;

– система нормативов помогает сформировать экономическую осведомленность сотрудников. Нормативы в виде технологических карт, нормативных спецификаций, бюджетов помогают сотрудникам сформировать общее представление о затратах, связанных с выпуском продукции;

– нормативное планирование стимулирует поиск лучших методов работы. Разработка нормативов использования различных ресурсов стимулирует руководство и сотрудников, вовлеченных в этот процесс, к поиску более эффективных способов использования ресурсов;

Вместе с отмеченными выше достоинствами планирования по нормативным затратам в его использовании встречается и ряд недостатков:

– разработка приемлемых нормативов эффективности работы. Если руководство организации решило руководствоваться реальными нормативами, предстоит решить, какой уровень (более или менее жесткий) будет приемлемым для данной организации. Слишком жесткие нормативы негативно отражаются на производственных отношениях, поскольку могут рассматриваться рабочими как невыполнимые;

– невозможность применения в случае неоднородности выпускаемой продукции. Планирование по нормативным затратам оправдано в тех случаях, когда производство представляет собой последовательность стандартных операций, а продукция относительно однородна;

– сложность учета в нормативах влияния инфляции. Большой проблемой является разработка нормативов в периоды экономической нестабильности и высокой инфляции. Но даже если общий темп инфляции низок, она может очень по-разному влиять на различные составляющие доходов и затрат организации;

– система нормативного планирования требует для своего внедрения и поддержания определенных и немалых затрат.

Но несмотря на все указанные сложности и недостатки, планирование по нормативным затратам широко используется в практике работы организаций прежде всего как основа системы оперативного планирования.

Графо-аналитические методы планирования. Прогнозирование по временным рядам представляет собой чисто статистический метод. Временной ряд – это последовательность значений некоторого показателя, привязанных к определенным датам или промежуткам времени. Анализ такого временного ряда сводится к определению зависимости значения прогнозируемого параметра от времени, т. е. отыскивается зависимость вида $X = F(t)$ [3].

Форма зависимости может быть любой, но, как правило, на практике используют сравнительно простые зависимости, прежде всего линейную. На практике, в большинстве случаев, этого бывает достаточно для оценки тенденций изменения показателя и определения диапазона возможных значений параметра.

Таким образом, при прогнозировании по временным рядам серия данных о прошлом продлевается на будущее, образуя прогнозную оценку рассматриваемого количественного параметра. При этом не учитываются факторы, которые оказывают влияние на значение показателя, во внимание принимается только имеющаяся тенденция изменения его количественных значений, без анализа причин этих изменений. Найденная «зависимость» прогнозируемого показателя от времени носит явно искусственный характер и в подавляющем большинстве случаев не соответствует реальным закономерностям его изменения. Поэтому методы прогнозирования по временным рядам отличаются невысокой точностью.

Данный метод называют также экстраполяцией, формальным прогнозированием или построением трендов. Существует множество статистических методов экстраполяции, которые различаются кругом решаемых задач. Сравнительно простые методы регрессионного анализа используются для прогноза в условиях долгосрочной, устойчивой тенденции. Когда присутствуют цикличные изменения показателей, обусловленные, например, сезонным характером производства (сельское хозяйство, строительство), используются более сложные методы прогнозирования, предполагающие сложный анализ временных рядов.

Методы экстраполяции включают метод наименьших квадратов, метод экспоненциального сглаживания, метод скользящего среднего, а также ряд других. Наибольшее распространение из них получил метод наименьших квадратов, который позволяет подобрать простую функцию (как правило, линейную), описывающую зависимость планируемого параметра от времени. Зная эту зависимость, мы можем получить прогнозное значение на интересующий нас момент времени.

Главным требованием надежности данного метода является достаточный объем данных о прошлом значении показателя. Прогноз, основанный на 2–3 предыдущих значениях некоторого показателя, наверняка будет очень неточным – для более-менее достоверного прогноза необходимо 10–15 значений. При этом считается, что достаточно точным будет прогноз, сделанный не более чем на срок, вдвое меньше периода, за который имеются данные, использованные для построения прогноза.

При планировании воспроизводства основных фондов достаточно широко используются следующие зависимости: изменение уровня производительности оборудования с течением времени; изменение времени межремонтного цикла в зависимости от срока службы оборудования; изменение стоимости ремонтных работ в зависимости от срока службы оборудования.

Преимуществом данного метода планирования является простота применения, наглядность результатов, так как прогноз выдается в виде численных значений параметра. Этот метод легко реализуется с помощью ЭВМ.

Недостатком метода является, во-первых, ограниченная сфера его применения – прогнозировать можно только количественные показатели, при этом необходимо, чтобы имелись их значения за достаточно продолжительный прошлый период. Вторым недостатком метода является ограниченный горизонт прогнозирования. Как показывает обширный опыт применения, прогнозы по временным рядам точны в достаточно краткосрочной перспективе. Это объясняется тем, что такой прогноз не может предвидеть какие-то значительные качественные изменения прогнозируемого показателя. Например, прогноз объема производства определенного вида продукции, сделанный методом временных рядов, не может учитывать смену технологии, которая позволит значительно расширить производство, появление новых видов продукции, которые вытеснят анализируемый продукт с рынка и т. д. Простой количественный анализ не может предвидеть качественные изменения, которые происходят в системе.

Экономико-математические методы. При планировании необходимо рассчитать и взаимно увязать громадное количество показателей, характеризующих разные стороны и моменты развивающегося предприятия. Сложная взаимосвязь экономических процессов требует для обеспечения реальности намечаемых планов использования в расчетах новейших математических методов, далеко выходящих за рамки четырех действий арифметики [3]. Поэтому сейчас в теории и практике планирования происходит очень интенсивная разработка экономико-математических методов для решения задач различного класса на разных уровнях управления предприятием. Как правило, эти методы позволяют предвидеть последствия принимаемых плановых решений и благодаря этому значительно повышают эффективность ведения хозяйства.

К числу основных экономико-математических методов, экспериментально апробированных и используемых в хозяйственной практике, относятся следующие: технико-экономические расчеты для предприятий и их отдельных подразделений; методы наилучшего (оптимального) распределения производства продукции по различным видам взаимозаменяемого оборудования; способы рационального календарного распределения производственной программы предприятия методами линейного программирования; методы определения рациональной структуры оборудования и др.

Как правило, применение этих методов обеспечивает повышение эффективности использования ресурсов (сырья, оборудования, рабочей силы) на 5–20 %.

Экономико-математические методы народнохозяйственного планирования. Статическая и динамическая модели межотраслевого баланса; модели народного потребления, модели ценообразования, модели оптимального народнохозяйственного плана и т. д., позволяют обеспечивать пропорциональное, сбалансированное развитие народного хозяйства в соответствии с заданной целью.

Преимуществом данного метода является комплексный подход к анализируемой ситуации, когда для прогноза изменения ситуации используется набор существенных показателей. Как правило, такие прогнозы в основном оказываются верными, однако, они основаны на анализе уже случившихся событий. Поэтому, если возникает ситуация, которая не имеет прецедента, этот метод не способен дать точный прогноз. Таким образом, несмотря на более высокую надежность данного метода, ему присущи те же недостатки, что и методу планирования по временным рядам.

Несомненным достоинством метода является также и то, что, располагая моделью системы, мы можем прогнозировать не только одно, наиболее вероятное развитие ситуации, но и проигрывать различные сценарии и, тем самым, выбирать наиболее результативные варианты поведения. Модель в таком случае является не только инструментом прогнозирования, но и инструментом планирования.

Методы экспертных оценок – эта группа методов планирования предполагает учет субъективного мнения экспертов о будущем состоянии дел [4]. Для экспертных оценок характерно предсказание будущего на основе, как рациональных доводов, так и интуитивного знания. Методы экспертных оценок, как правило, имеют качественный характер.

Экспертные оценки разделяют на *индивидуальные* и *коллективные*. К *индивидуальным* экспертным оценкам относят метод «интервью», аналитические докладные записки, сценарии.

Метод «интервью» предполагает беседу организатора прогнозной деятельности с прогнозистом-экспертом, в которой ставятся вопросы о будущем состоянии фирмы и ее среды.

Метод аналитических докладных записок означает самостоятельную работу эксперта над анализом деловой ситуации и возможных путей ее развития.

Коллективные экспертные оценки можно назвать комплексными методами прогнозирования, поскольку они включают подготовку и сбор индивидуальных экспертных оценок; статистические методы обработки полученных материалов.

Коллективные экспертные оценки включают метод «комиссий», метод «мозговых атак», метод «Дельфи».

Метод «комиссий» может означать организацию «круглого стола» и других подобных мероприятий, в рамках которых происходит согласование мнений экспертов.

Для *метода «мозговых атак»* характерны коллективная генерация идей и творческое решение проблем. Мозговая атака представляет собой свободный, неструктурированный процесс генерирования любых идей по избранной теме, которые спонтанно высказываются участниками встречи. Оптимальное число участников составляет 6–12 человек, желательно, чтобы это были люди, имеющие различные профессии и специализации.

Метод «Дельфи» был разработан известным экспертом из исследовательской корпорации «РЭНД» Олафом Хельмером, математиком по образованию. Может быть, поэтому в методе «Дельфи» сочетаются творческий подход к решению проблемы и достаточная точность прогноза.

Суть метода «Дельфи» состоит в проведении анкетных опросов специалистов выбранной области знаний (наиболее часто этот метод используется в технологическом планировании, при предсказании открытий и нововведений в области технологии). Полученные анкетные данные подвергаются статистической обработке, в результате которой формируется диапазон мнений экспертов, отражающий их коллективное мнение по избранной проблеме.

Из всех перечисленных методов экспертных оценок очень высокую популярность в последние десятилетия получил метод составления сценариев. Рассмотрим его более подробно.

Впервые термин «сценарий» был употреблен в 1960 г. футурологом Х. Каном при разработке картин будущего, необходимых для решения стратегических вопросов в военной области.

Сценарий – это описание (картина) будущего, составленное с учетом правдоподобных предположений. Как правило, для прогноза ситуации характерно существование определенного количества вероятных вариантов развития. Поэтому прогноз обычно включает в себя несколько сценариев. В большинстве случаев это три сценария: оптимистический, пессимистический и средний – наиболее вероятный, ожидаемый.

Сценарии разрабатываются для определения рамок будущего развития: технологии; рыночных сегментов; стран или регионов и т. д.

Экономическая организация со смежной структурой и разнообразием направлений деятельности меньше поддается прогнозированию в рамках сценария.

В целом сценарий подчинен стратегической функции фирмы и разрабатывается в процессе долгосрочного планирования. Широкий временной охват предполагает усиление неопределенности среди бизнеса, и поэтому для сценария, как правило, характерны некоторая недостоверность и повышенное количество ошибок. Поскольку определение количественных параметров будущего затруднено (так, трудно точно определить величину продаж фирмы через 5 лет), при составлении сценариев чаще всего используются качественные методы и интервальные прогнозы показателей. Вместе с тем сценарий предполагает комплексный подход для его разработки, помимо качественных могут использоваться количественные методы: экономико-математическое моделирование, анализ перекрестного влияния, корреляционный анализ и т. д.

Преимущества экспертного метода заключаются в системном подходе, когда каждый значащий фактор рассматривается во взаимосвязи, учитывается взаимодействие всех факторов и степень их воздействия на конечный результат. Экспертный метод позволяет в полной мере использовать все способности человеческого мозга к анализу сложных проблем, в том числе интуицию, практический опыт, способность к аналогиям. В результате можно предвидеть появление новых действующих факторов, оказывающих влияние на поведение исследуемого объекта, а также изменение влияния имеющихся факторов. Эксперты способны предвидеть качественные изменения изучаемой ситуации и это важнейшее преимущество экспертного метода над формальными (анализ временных рядов и экономико-математическое моделирование). Экспертный метод также позволяет использовать при разработке прогноза практически всю доступную информацию, в том числе и неформализованную, неопределенную или неполную.

В то же время, существенным недостатком метода является то, что прогноз дается качественный, формализовать его достаточно сложно. Поэтому практическое использование такого прогноза тоже часто затруднено, поскольку практика управления часто требует точных данных, а приблизительные оценки не могут быть положены в основу решения.

Опасность кроется и в субъективном характере прогноза, когда предположения об изменениях показателей основываются исключительно на мнении эксперта. Это мнение может быть предвзято, вследствие чего весь прогноз окажется неточен. При коллективных экспертных оценках (мозговой штурм) нередко возникает также подавление одних экспертов другими, более авторитетными или более эмоциональными, вследствие чего принимается ошибочная оценка. Немаловажная роль отводится и оценки квалификации эксперта, ведь, чем она выше, тем более точным получится прогноз. Но далеко не всегда квалификацию можно оценить по формальным критериям, таким как образование, ученая степень, опыт работы и т. д.

Другим серьезным недостатком метода является его крайне высокая стоимость, напрямую вытекающая из требований к высокой квалификации экспертов. Высококвалифицированные специалисты, как правило, дорого оценивают свой труд. Высокая стоимость обусловлена и использованием достаточно сложных организационных процедур.

Эти достоинства и недостатки метода предопределили круг его практического использования. Экспертные оценки применяют при анализе и прогнозировании важных ситуаций, когда цена решений очень велика. Как правило, экспертные оценки используется наряду с другими методами – методом анализа временных рядов и методом экономико-математическое моделирования.

Каждый из рассмотренных методов имеет свои достоинства и недостатки и в отдельности не может в полном объеме решать задачу стратегического планирования инновационного воспроизводства ОПФ предприятий. Кроме того, развитие информатики и средств вычислительной техники создает возможность расширения возможностей традиционно используемых методов планирования и их совершенствования. В последнее время получили распространение новые методы, основанные на обобщении сис-

темного подхода, применении новых математических методов моделирования, таких как имитационное моделирование, нечеткие множества, нейросетевые технологии, генетические алгоритмы и т. д. Как правило, эти методы предполагают широкое использование специализированных компьютерных программ и/или специализированных вычислительных устройств.

Таким образом, в настоящее время в стратегическом планировании инновационного воспроизводства ОПФ необходимо использовать весь комплекс рассмотренных выше методов планирования с опорой на широкое применение вычислительной техники.

Библиографические ссылки

1. Щепкин А. В. Внутрифирменное управление (модели и методы). М. : ИПУ РАН, 2007.

2. Владимирова Л. П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка : учеб. пособие. 2-е изд. М., 2007.

3. Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2006.

4. Дуброва Т. А. Прогнозирование социально-экономических процессов. М. : Маркет ДС, 2010.

A. A. Boyko

METHODS OF STRATEGIC PLANNING OF INNOVATIVE REPRODUCTION OF PRODUCTION CAPITAL FUNDS

Methods of strategic planning of innovative reproduction of production capital funds are considered in this article, the analysis of their merits and demerits is carried out.

Keywords: reproduction, strategic planning, methods.

© Бойко А. А., 2011

УДК 330.35

З. А. Васильева

ФАКТОРЫ, УСЛОВИЯ И МЕХАНИЗМЫ ИННОВАЦИОННОГО РОСТА ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА

Рассматриваются факторы, условия и механизмы формирования системы управления инновационной политикой региона, стратегии и варианты формирования заказов на разработку и продвижение инновационной продукции, направления государственной поддержки процессов инновационной деятельности.

Ключевые слова: инновационная продукция, инновационная политика региона, механизм и стратегия инновационного развития.

Исследование современной теории и практики формирования инновационных факторов экономического роста [1–6] позволяет нам выделить прямые макроэкономические взаимосвязи между темпами экономического роста и показателями качества жизни населения, нарушение которых приводит к нарастанию диспропорций между традиционными и инновационными факторами роста экономики:

1. Наличие тесной взаимосвязи макроэкономических показателей с политикой доходности и занятости населения. Общеизвестно, что низкие доходы населения приводят к сокращению потребительских расходов, объемов внутреннего спроса, сокращению производства товаров и услуг на уровне региона. В мировой хозяйственной практике доказано, что снижение динамики и увеличение уровня дифференциации доходов населения снижают темпы экономического роста. Так, при уровне поляризации доходов в 4,5–5,5 раза государства имеют высокие темпы экономического роста ВВП (Польша, Венгрия, Чехия, Словакия, Словения) против стран, имеющих низкие темпы экономического роста с уровнем поляризации доходов в 10 раз (Болгария, Румыния) и в 15 раз (Россия).

Основной причиной возникновения диспропорций данной макроэкономической взаимосвязи является выбор модели и приоритетов реализации политики доходности на уровне регионов. Для формирования факторов инновационного роста экономики региона необходимо сменить существующую политику доходности, ориентированную на доход населения как источник сохранения жизненного уровня населения, – на политику доходности, ориентированную на использование доходов населения в качестве источника развития и интеллектуального роста;

2. Наличие тесной взаимосвязи макроэкономических показателей с демографической политикой и политикой занятости населения региона. Общеизвестно, что неблагоприятная демографическая ситуация

(сокращение численности трудоспособного населения, увеличение количества пенсионеров) приводят к сокращению трудового потенциала как фактора экономического роста.

Основной причиной возникновения диспропорций данной макроэкономической взаимосвязи является выбор модели и приоритетов реализации политики занятости населения на уровне регионов. Для формирования факторов инновационного роста экономики региона необходимо сменить политику занятости населения на политику развития трудовых ресурсов и качества рабочей силы;

3. Наличие тесной взаимосвязи макроэкономических показателей с вложениями государства в социальную сферу (наука, образование, здравоохранение) и темпами экономического роста. Исследование мировой практики хозяйствования позволяет утверждать:

– увеличение доли государственных расходов до 45–50 % (Польша, Венгрия, Словения) вызывает резкое увеличение экономического роста ВВП до 70 %;

– снижение доли государственных расходов в социальную сферу до 25–35 % (Болгария, Румыния; Россия – 24,4 %) вызывает снижение экономического роста ВВП до 18–20 % [6–8].

Основной причиной возникновения диспропорций данной макроэкономической взаимосвязи является выбор модели и приоритетов реализации социальной политики на уровне регионов. Для формирования факторов инновационного роста экономики региона необходимо сменить политику социальной защиты населения на политику социального развития. При этом необходимо учитывать роль отдельных элементов социальной системы в формировании инновационных факторов роста (инновационный потенциал; человеческий потенциал, интеллектуальный потенциал):

– инвестиции в сферу науки формируют инновационный потенциал и инновационную инфраструктуру;

– инвестиции в сферу здравоохранения формируют человеческий потенциал и социальную инфраструктуру;

– инвестиции в сферу образования формируют интеллектуальный потенциал (качество рабочей силы) и деловую инфраструктуру.

Нарушение причинно-следственных макроэкономических взаимосвязей между темпами экономического роста и политикой доходности, занятости населения, социальной политикой, в свою очередь, приводит к искажению механизмов управления процессами формирования факторов и условий инновационного роста.

Исследование современной практики формирования инновационных факторов экономического роста позволяет нам выделить нарастание следующих видов диспропорций в механизмах управления на уровне регионов [1–3]:

1. В механизмах прав и ответственности власти и бизнеса по вопросам использования ресурсного потенциала регионов:

– с одной стороны, снижение объемов государственных ресурсов в связи с переходом общенациональных (общерегиональных) ресурсов в частную собственность;

– с другой стороны, повышение ответственности власти (государства, региона) за ликвидацию негативных последствий ведения бизнеса частными компаниями (снижение качества жизни и уровня доходов населения, обусловленного ростом цен на продукцию естественных монополий, на услуги производственной и социальной инфраструктуры; снижение количества рабочих мест в связи со сменой стратегии развития субъекта хозяйствования);

2. В механизмах воспроизводства ресурсного потенциала региона (научно-технического, кадрового, инфраструктурного):

– с одной стороны, формирование ресурсного потенциала инновационной деятельности за счет средств государства (приобретение уникального оборудования для университетов, подготовка высококвалифицированных кадров, создание объектов инновационной инфраструктуры);

– с другой стороны, использование результатов научно-технической, инновационной деятельности бизнесом без участия и хотя бы частичного возмещения затрат на проведенные работы;

3. В механизмах рыночного регулирования стратегического развития региона с учетом необходимости реализации общерегиональных и общенациональных целей:

– с одной стороны, ориентация бизнеса на собственные силы в условиях ужесточения конкуренции за рынки сбыта без их участия в реализации приоритетных направлений социально-экономического развития регионов;

– с другой стороны, снижение возможностей власти для формирования условий наращивания конкурентных преимуществ региона как базы для потенциального роста конкурентоспособности субъектов хозяйствования (повышение инвестиционной привлекательности; защита внутренних рынков; поддержка при выходе на международные рынки).

В качестве критериев оценки изменения вектора экономического роста на инновационное развитие в мировой практике хозяйствования используется оценка участия фактора человеческого капитала (против фактора природных ресурсов) в формировании национального богатства и конкурентоспособности государства. На основании аналитического доклада Всемирного экономического форума в развитых странах человеческий капитал составляет 2/3 накопленного национального богатства, а в развивающихся государствах, где высокий удельный вес показателей стоимости природных ресурсов – 1/2 национального богатства [6].

В качестве критериев оценки эффективности инвестирования в человеческий капитал как инновационного фактора экономического роста выступают следующие соотношения:

– величина прибыли от инвестиций в человеческий капитал превышает в 3 раза величину прибыли от инвестиций в технику;

– увеличение инвестиций в систему образования и повышения уровня образования на 10 % обеспечивает рост производительности труда на 8,6 % (увеличение инвестиций в акционерный капитал на 10 % – обеспечивает рост производительности труда всего на 3–4 %).

Исходя из всего вышесказанного необходимо четко определить факторы, условия и механизмы инновационного развития на уровне региона, обеспечивающие рост текущей конкурентоспособности и потенциала инновационной конкурентоспособности региона.

Исходя из повышения значимости инновационных факторов экономического роста в формировании текущей и инновационной конкурентоспособности региона необходимо, по нашему мнению, разграничить:

– факторы, позволяющие формировать необходимый потенциал региональных ресурсов, обеспечивающих экономический рост и пороговое значение уровня конкурентоспособности региона;

– факторы, позволяющие наращивать потенциал инновационной конкурентоспособности и потенциал региональных ресурсов (со скоростью, обеспечивающей экономический рост ВРП и рост показателей качества жизни населения региона на уровне мировых значений).

На основе вышеприведенного разграничения факторов, по нашему мнению, можно разграничить и условия, обеспечивающие рост потенциала инновационной конкурентоспособности региона на необходимые и достаточные.

Необходимые условия экономического роста региона – это условия поддержания уровня конкурентоспособности выше пороговых значений, направленных на создание производств с высокой добавленной стоимостью на основе интенсификации и оптимизации использования существующих факторов производства (внутренних и внешних рынков) за счет внутриотраслевых и межотраслевых факторов роста.

Необходимые условия поддержания уровня конкурентоспособности за счет внутриотраслевых факторов роста предусматривают:

– углубление специализации перерабатывающих отраслей на выполнении ограниченного набора производственных операций (функций) в рамках международной специализации мировых товарных «цепочек»;

– размещение специализированных производственных операций (функций) перерабатывающих отраслей в мировой (межрегиональной) производственной сети на основе оптимизации и издержек производства за счет использования более дешевых факторов производства;

– углубление продуктовой специализации для удовлетворения требований индивидуализированного спроса на основе внутриотраслевого инновационного потенциала (инновации в области конструирования и производства продукции высокого качества с низкими издержками) и интенсификации использования накопленного внутриотраслевого передового опыта (инновации в области продвижения и сбыта продукции, работы с клиентами).

Необходимые условия поддержания уровня конкурентоспособности за счет межотраслевых факторов роста предусматривают:

– увеличение количества производственных структур, обеспечивающих комплексную и глубокую переработку природно-сырьевых ресурсов в виде территориально-отраслевых технологических кластеров;

– снижение «входных барьеров» для базовых товаров при переходе в отрасли, имеющие неиспользованные (либо дешевые) ресурсы для расширения сфер применения инновационных продуктов (товар, технология, услуги).

Необходимые условия роста конкурентоспособности базируются на возможностях оптимального соотношения механизмов управления субъектов хозяйствования и государственной власти при ведущей роли субъекта хозяйствования.

Достаточные условия роста конкурентоспособности региона – это условия наращивания потенциала инновационной конкурентоспособности со скоростью, обеспечивающей экономический рост ВРП и показателей качества жизни на уровне мировых значений.

Формирование достаточных условий экономического роста региона направлено на создание новых возможностей для роста и наращивания потенциала инновационной конкурентоспособности. В качестве достаточных условий экономического роста региона, по нашему мнению, можно выделить:

– наращивание потенциала конкурентоспособности за счет активизации использования факторов инновационного потенциала (использование инновационных технологий в рамках отдельных отраслей; для комплексного решения создания производств глубокой переработки в рамках территориальных межотраслевых технологических кластеров);

– наращивание потенциала конкурентоспособности за счет активизации использования интеллектуального потенциала (высококвалифицированные кадры; технологии формирования и использования новых знаний; способы и методы принятия управленческих решений) для расширения возможностей инновационной деятельности по созданию новых технологий, товаров и методов управления;

– наращивание потенциала конкурентоспособности за счет активизации использования инвестиционного потенциала для перераспределения рыночных сил формирования экономического роста с отраслей добывающего сектора на отрасли перерабатывающего сектора (создание производств с высокой добавленной стоимостью);

– наращивание потенциала конкурентоспособности за счет активизации институциональных возможностей (финансовые, экономические, социальные, организационные, правовые институты) для поддержки субъектов хозяйствования в процессе создания и

продвижения продукции на межрегиональные и мировые рынки.

Достаточные условия базируются на возможностях оптимального соотношения механизмов управления государственной власти (уровень Федерации, уровень субъекта Федерации) и субъекта хозяйствования при ведущей роли государственного (федерального, регионального) уровней управления.

Использование инновационного и интеллектуального потенциалов в качестве факторов экономического роста возможно на основе изменения механизмов государственного регулирования научно-технической и инновационной политики, изменения системы финансирования и стимулирования образования, науки и здравоохранения, совершенствования механизма управления науки и образования.

Инновационная политика в условиях региональной интеграции должна быть построена по принципу иерархии уровней управления, разграничения степени ответственности и рисков государственной власти и бизнеса за процессы инновационной деятельности:

– общая инновационная политика региона совместно с Федеральным центром, направленная на поддержку инновационной деятельности на ранних этапах создания инновационного продукта – поддержка научно-исследовательских организаций, университетов, наукоемких фирм, выполняющих фундаментальные и прикладные НИР, имеющих важное значение для экономики региона;

– программно-проектная инновационная политика региона совместно с отраслевыми Ассоциациями предприятий региона, направленная на поддержку инновационной деятельности отдельных отраслей или сфер деятельности, определяющих развитие инфраструктуры региона, имеющих важное социальное значение или низкий уровень доходности;

– кластерная инновационная политика, направленная на поддержку инновационной деятельности научно-исследовательских организаций (университетов, наукоемких фирм), обеспечивающих создание инновационных продуктов по всей цепочке технологического цикла комплексной и глубокой переработки ресурсов совместно с администрациями муниципальных образований региона.

Учитывая достоинства и недостатки существующих путей инновационного развития считаем, что экономический и мотивационный механизмы инновационной политики региона, по нашему мнению, должны включать следующие элементы: формирование заказа на разработку инновационной продукции, находящейся на различных этапах – стадиях разработки, схем продвижения инновационных продуктов к потребителям, механизмов государственной поддержки инновационной деятельности, формирование мотивационных механизмов участников инновационной деятельности.

Формирование заказов на разработку инновационной продукции, находящейся на различных стадиях разработки, может осуществляться по двум стратегиям:

– «вытягивание рынком» (активность действий получателя технологий);

– «выталкивание на рынок» (активность действий разработчика технологий).

1. Формирование заказа на инновационную продукцию по стратегии «вытягивание рынком» позволяет обеспечить создание «критической массы» инновационных технологий по всему циклу инновационного процесса (исследование – разработка – производство – продвижение продукции), необходимой для экономического прорыва, усиления конкурентных преимуществ на рынке. Стратегия позволяет сформировать комплексный заказ на все виды и типы научно-исследовательских и прикладных разработок для НИИ, университетских комплексов, опытно-экспериментальных предприятий, информационно-аналитических, маркетинговых центров, электронных выставок и т. п.

Наиболее эффективно используются данные стратегии для технологических территориально-отраслевых кластеров.

Выбор вариантов формирования заказа зависит, по нашему мнению, от следующих факторов:

– времени, необходимого для получения законченного результата;

– соотношения затрат на приобретение готовой технологии и затрат, связанных с доведением результатов НИОКР до промышленного освоения;

– соотношения скорости нарастания степени конкуренции со стороны зарубежных и российских производителей и скорости формирования необходимой «критической массы» готовых инновационных технологий для наращивания конкурентных преимуществ территориально-отраслевого технологического кластера.

Получатели инновационной технологии в случае невозможности решения этой задачи за счет региональных и российских научно-исследовательских и академических структур могут рассмотреть возможности приобретения технологии в зарубежных странах. Основные преимущества приобретения готовых инновационных технологий в развитых странах связаны с возможностью повышения конкурентоспособности на внутреннем и мировом рынке за счет меньшей стоимости рабочей силы, энергии, сырья в России; снижения рисков за счет имеющейся практической апробации за рубежом. Основные недостатки: отсутствие возможностей получения сверхприбылей; невозможность выйти в лидеры мировой экономики по традиционным технологиям.

Механизмы государственной поддержки по данной стратегии должны быть направлены на предоставление финансовых средств из бюджета развития региона на доведение до законченного результата НИОКР; предоставление кредитов предприятиям кластера либо для заказа на разработку, либо на приобретение; кредитов предприятиям для приобретения технологии за рубежом (патента, лицензии), если разработка собственными силами невозможна или требует

больших затрат; финансовую поддержку инвестиционного проекта.

2. Формирование заказа на инновационную продукцию по стратегии «выталкивание на рынок», стратегии «технологический толчок» основывается на активности действий источника технологий. Данная стратегия позволяет получателям технологии приобрести инновационный продукт, на который не были затрачены средства самых затратных этапов «фундаментально-прикладные исследования»; обеспечить повышение уровня конкурентоспособности предприятия и увеличить долю рынка за счет приобретения инновационного продукта, о котором не имели представления раньше.

Формирование заказа по стратегии «выталкивание на рынок» осуществляется за счет государственной поддержки на ранних стадиях процесса коммерциализации инновационных проектов – маркетинговые исследования – и на поздних этапах процесса – организационная поддержка процесса продвижения продукции на международные рынки, сертификация продукции.

В качестве основных направлений государственной поддержки, ориентированной на процесс внедрения инновационной технологии, можно выделить маркетинговое изучение рынков сбыта, в том числе зарубежных; экспериментальное и промышленное испытание; сертификацию и лицензирование; поддержку инвестиционного проекта (предоставление гарантий, налоговых льгот, налоговых кредитов, гарантий на кредиты); административную поддержку (помощь в организации продвижения на другие рынки сбыта).

Исследование механизмов управления инновационными факторами экономического роста позволяет нам сделать следующие выводы:

– превращение имеющегося научно-технического и инновационного задела региона в фактор экономического роста возможно только на основе объединения усилий всех субъектов рынка;

– наращивание потенциала роста конкурентоспособности и конкурентных преимуществ на основе инновационных технологий возможно с использованием двух типов стратегий региона по формированию и финансированию заказа: активности получателя, активности разработчика;

– выбор стратегий формирования заказа региона должен определяться на основе критерия «скорости возможной потери рынков из-за отсутствия инновационных технологий».

Библиографические ссылки

1. Васильева З. А., Лихачева Т. П. Красноярский край: анализ экономических предпосылок в связи со вступлением России в ВТО. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005.

2. Васильева З. А. Формирование механизмов экономического роста на основе Концепции полезности. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005.

3. Васильева З. А. Экономический рост хозяйственных систем на основе инновационной конкурентоспособности в условиях глобализации. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006.

4. Иванова Н. Инновационная система России в глобальном контексте // МЭиМО. 2005. № 7. С. 32–33.

5. Кириченко Э. Основы инновационного лидерства США // Мировая экономика и международные отношения. 2005. № 7. С. 45–47.

6. Кузнецов Е. В. Направление развития человеческого потенциала в странах с различным уровнем экономического развития // Вопросы статистики. 2003. № 10. С. 17–23.

7. Пискулов Д. Влияние инновационной политики на международную конкурентоспособность государств // Инвестиции в России. 2003. № 7. С. 38–48.

8. Римашевская Н. Человеческий потенциал России и проблемы «сбережения населения» // Российский экономический журнал. 2004. № 9–10. С. 22–40.

Z. A. Vasilieva

FACTORS, CONDITIONS AND MECHANISMS OF INNOVATIVE GROWTH OF THE REGIONAL ECONOMY

The author considers the factors, conditions and mechanisms of management of innovation policy in the region, formation of strategies and variants of statement of requirements, for development and promotion of innovative products, processes, trends of the state support of innovative activity.

Keywords: innovative products, innovative regional policy, mechanisms and strategy of innovative development.

© Васильева З. А., 2011

УДК 338.245.001.76

Ю. В. Ерыгин, И. Н. Новикова

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ SWOT-АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ОРИЕНТИРОВ

Предложенная модификация SWOT-анализа на основе цепочек формирования стратегических ориентиров компании, позволяющая определить видение, миссию и цели ее развития, построить дерево целей, увязывающего частные цели с главной.

Ключевые слова: SWOT-анализ, стратегические ориентиры, стратегическое планирование.

Характерной особенностью начала XXI в. в экономике России является переход от централизованных методов управления к рыночным способам хозяйствования в сочетании с государственным регулированием. Процесс перехода к рыночной экономике оказался довольно болезненным для значительной части хозяйствующих субъектов страны. Особенно сложная ситуация сложилась в отечественном оборонно-промышленном комплексе (ОПК), который в наибольшей степени подвергся разрушительным последствиям кризиса.

Резкое сокращение военных заказов, недостаточное их финансирование, низкий уровень технического состояния основных фондов, запаздывание с разработкой программ конверсии, слабое управление процессами реформирования оборонного комплекса, недостатки в законодательстве и нормативно-методи-ческом сопровождении стали причиной тяжелого финансово-экономического состояния предприятий ОПК [1].

В этих условиях задача повышения конкурентоспособности отечественного промышленного производства на основе инновационного развития и технического перевооружения предприятий является одним из национальных приоритетов развития страны на ближайшие годы. Успешное решение указанной задачи позволит обеспечить производство отечественной промышленной продукции, конкурентоспособной на внутреннем и внешнем рынках [1].

Анализ технического состояния основных фондов отечественных промышленных предприятий свидетельствует о необходимости безотлагательного решения задачи обновления парка технологического оборудования, внедрения новейших информационных технологий организации и управления производством, а также реализации современных технологий менеджмента качества продукции. Таким образом, стратегической задачей российских промышленных предприятий является осуществление комплексного технического (технологического, информационного и кадрового) перевооружения, без которого невозможно решить проблему производства конкурентоспособной продукции.

В настоящее время в отечественной промышленности активно ведутся процессы технического перевооружения промышленных предприятий. В сфере оборонно-промышленного комплекса (ОПК) намечено вложение сотен миллиардов рублей бюджетных средств на техническое перевооружение предприятий, участвующих в выполнении государственного оборонного заказа. Эффективное инвестирование в техническое перевооружение невозможно без решения задач создания современных действенных механизмов стратегического планирования и управления, которые способствуют адаптации предприятий к постоянно изменяющимся условиям внешней среды и эффективному использованию вновь открывающихся возможностей. Отличительной особенностью стратегического планирования и управления (по сравнению с долгосрочным, применяемым при централизованной экономике) является разработка стратегий развития предприятий в условиях нестабильной внешней и внутренней среды, высокой альтернативности развития.

Важнейшим элементом стратегического планирования и управления является выбор наиболее эффективных решений, так как потери, обусловленные неудачным определением стратегии развития предприятий ОПК, могут иметь экономический, политический, социальный, технологический и иной характер и быть значительными [1; 4].

Как показал опыт зарубежных организаций, внедрение стратегического планирования требует затрат, которые не всегда могут оказаться результативными. При определенных обстоятельствах требуется время, чтобы усилия руководства дали положительные результаты. Даже очень хорошо управляемая организация может столкнуться с неблагоприятными и непредсказуемыми обстоятельствами. Обязанностью руководства является принятие мер, направленных на компенсацию отрицательного воздействия неожиданно возникающих неблагоприятных условий путем осуществления стратегического планирования и использования таких деловых подходов, которые помогли бы преодолеть последствия неудачного стечения обстоятельств.

Процесс стратегического планирования, являющийся составной частью стратегического управления, обычно представляется в виде последовательности циклически повторяющихся действий для решения взаимосвязанных задач:

– определение миссии и целей организации;

– анализ среды, включающий в себя сбор информации, анализ сильных и слабых сторон фирмы, а также ее потенциальных возможностей на основании имеющейся внешней и внутренней информации;

– анализ и формирование стратегических ориентиров;

– выбор стратегии.

Данная последовательность имеет один значительный недостаток. Формирование миссии и формулирование целей организации должно происходить с учетом реальных возможностей предприятия, после всестороннего изучения ситуации вокруг предприятия, а также оценки возможностей и угроз научного и технологического развития, с которыми оно может столкнуться. Проведение подобного анализа до постановки миссии и целей поможет выявить область активных действий организации и отсечь бесперспективные пути развития, определить основные принципы конкурентной борьбы, а также позволит установить обоснованные, а не произвольные цели. Цели должны формироваться с учетом внешних и внутренних факторов.

Таким образом, учитывая все вышесказанное, скложилась определенная последовательность этапов стратегического планирования предприятия:

– анализ среды, включающий в себя сбор информации, анализ сильных и слабых сторон фирмы, а также ее потенциальных возможностей на основании имеющейся внешней и внутренней информации;

– определение миссии и целей организации;

– анализ и формирование стратегических ориентиров;

– выбор стратегии.

Как инструмент системной диагностики можно применить традиционный метод стратегического анализа – SWOT-анализ, которой является одним из самых распространенных методов, оценивающих в комплексе внутренние и внешние факторы. На основе результатов SWOT-анализа определяется стратегия развития предприятия, направленная на усиление его позиций [2].

Зачастую предприятиями проводится общий анализ, охватывающий одновременно все направления деятельности. Скорее всего, он будет слишком обобщенным и, как следствие, не будет представлять информативной ценности. Целесообразно будет провести сегментирование деятельности предприятия на отдельные сферы. Фокусирование SWOT-анализа в разрезе конкретной сферы предприятия даст намного более полезные для практического применения результаты, что обеспечит выявление наиболее важных сильных и слабых сторон, возможностей и угроз. Это раскроет относительные силы и слабости, способности предприятия по борьбе с угрозами и использованию возможностей.

Однако методология SWOT-анализа должна предполагать не только выявление факторов внешней и внутренней среды, но и формировать упорядоченную совокупность взаимозависимых элементов, которые функционируют как единое целое, решая при этом одну задачу – определение стратегических ориентиров [3].

Выявление причинно-следственных связей определяется состоянием экономической системы. Если это слабые стороны, то важно проанализировать – к каким угрозам они могут привести, в то же время какие возможности откроют данные угрозы, и, как следствие, отвечать на вопрос существует ли реальная потребность в этих возможностях. Соответственно, если это сильные стороны, то важно выявить за счет каких возможностей можно усилить их, но в то же время и учесть, как с их помощью можно избежать угроз.

Последовательность этапов в построении цепочек формирования стратегических ориентиров основана на использовании модифицированного SWOT-анализа (см. рисунок).

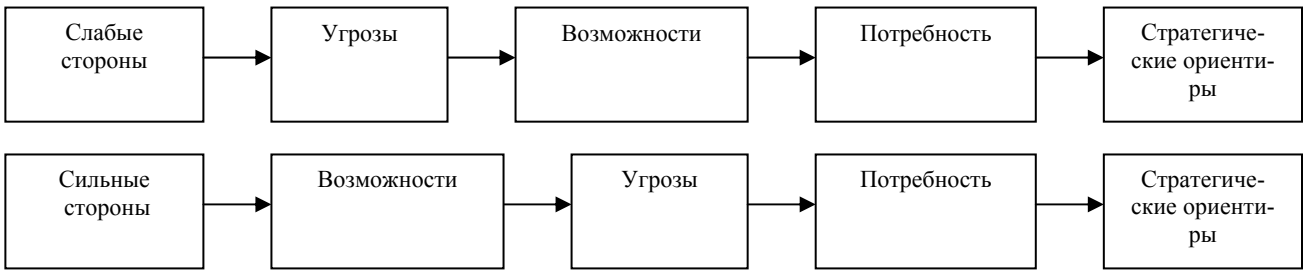
После того как по каждой сфере, где был проведен SWOT-анализ, будут определены стратегические ориентиры, нужно приступать к упорядочиванию целей всех сфер главной цели предприятия.

Цели различаются по уровням иерархии. Цели низлежащего уровня выступают в качестве средств достижения целей следующего, более высокого уровня. Следовательно, при формировании комплекса целей организационной системы может осуществляться их декомпозиция.

Основываясь на главных свойствах целей – развертываемости и подчиненности – конечная цель раскладывается на составляющие подцели таким образом, чтобы конъюнкция этих подцелей определялась в конечную цель. Инструментом, с помощью которого осуществляется систематизация целей, является модель – «дерево целей».

Декомпозиция целей происходит следующим образом: каждый из нижестоящих уровней в организации определяет свои цели, исходя из того, какие цели были установлены для более высокого уровня.

Таким образом, если главной целью служит техническое перевооружение предприятия, то стратегические ориентиры всех сфер, в которых был проведен SWOT-анализ, будут подчинены главной цели.



Цепочки формирования стратегических ориентиров компании на основе SWOT-анализа

Схема проведения SWOT-анализа должна включать в себя следующие этапы: во-первых, принципиально важно определить цель данного исследования; во-вторых, выделить те сферы деятельности предприятия, в которых будет проводиться SWOT-анализ; в-третьих, немаловажным этапом является упорядочивание данных сфер.

Для каждой из рассматриваемых сфер нужно перечислить наиболее важные элементы по всем четырем категориям: силы, слабости, возможности и угрозы. В каждой из них формулировки должны быть упорядочены по значимости: сначала идет угроза номер один, затем угроза номер два и т. д. Необходимо, чтобы все данные сферы были взаимосвязаны. Иными словами, выход из одной сферы должен служить входом в другую.

В результате проведенного анализа будет выявлена совокупность стратегических ориентиров, направленных на нейтрализацию угроз, использование возможностей с опорой на сильные стороны и укрепление слабых сторон. Это позволит повысить жизнеспособность предприятия, а в условиях воздействия на него неблагоприятных внутренних и внешних факторов обеспечить конкурентоспособное состояние на новом качественном уровне, достигнутом в ходе развития предприятия.

Таким образом, предложенная модификация SWOT-анализа на основе цепочек формирования стратегических ориентиров компании позволяет определить видение, миссию и цели развития компании, построить «дерево целей», увязывающего частные цели с главной целью, отвечающей стратегическому развитию компании.

Библиографические ссылки

1. Рязанова В. А. Выбор эффективных решений при стратегическом планировании и управлении на предприятиях оборонно-промышленного комплекса : автореф. дис. ... экон. наук. Нижний Новгород. 2003.

2. Инструменты формирования стратегических ориентиров технического перевооружения предприятий ОПК на основе модифицированного SWOT-анализа // Экономика и эффективность производства : сб. научн. тр. XIV междунар. науч.-практ. заочн. Интернет-конф. Брянск, 2011.

3. Организационно-экономические основы управления конкурентоспособностью предприятий машиностроения : автореф. дис. … экон. наук / Москов. гос. индустриал. ун-т. М., 2011.

4. Лесных Е. В., Попов В. В. Оборонно-промышленный комплекс: отраслевой интегрированный SWOT // Менеджмент в России и за рубежом. 2005. № 6.

Yu. V. Erygin, I. N. Novikova

MODIFICATED SWOT-ANALYSIS AS THE TOOL OF FORMATION OF STRATEGIC GUIDELINES

Modification of a method of the SWOT-analysis on the basis of the chains of formation of strategic guidelines of a company, which allows to identify the mission, vision and objectives of its development, to construct the hierarchy of goals, unifying main goals with particular, is suggested in the article.

Keywords: SWOT-analysis, strategic guidelines, strategic planning.

© Ерыгин Ю. В., Новикова И. Н., 2011

УДК 338.245.001.76

Ю. В. Ерыгин, А. М. Саакян

ИНСТРУМЕНТЫ ВЫБОРА ФОРМ И МЕТОДОВ СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Показано современное состояние инновационной деятельности на предприятиях оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и обоснованна необходимость развития инструментов ее стимулирования. Сформулированы принципы и предложены инструменты выбора форм и методов государственного стимулирования инновационной деятельности предприятий отрасли.

Ключевые слова: предприятия оборонно-промышленного комплекса, принципы, формы и методы стимулирования инновационной деятельности.

В настоящее время одним из приоритетных направлений деятельности правительства является переход России к инновационной экономике. Особенностью инновационной экономики является ее способность к развитию высокотехнологических производств, которые главным образом сосредоточены в отраслях оборонно-промышленного комплекса. Инновационная деятельность обеспечивает развитие, устойчивый рост и конкурентоспособность предприятий [1]. Роль и значение инноваций в экономике оп-

ределяют необходимость применения системного подхода к выбору форм и методов стимулирования развития инновационной деятельности.

На протяжении всего периода деятельности предприятий ОПК со стороны государства оказывается поддержка. Разрабатываются и реализуются программы и концепции, главной задачей которых является развитие инновационной деятельности. Но вместе с тем в настоящее время многие предприятия ОПК не восприимчивы к инновационной деятельности из-за ряда причин. Среди них такие, как экономические факторы (недостаток собственных денежных средств; недостаток финансовой поддержки со стороны государства; низкий платежеспособный спрос на новые продукты; высокая стоимость нововведений; высокий экономический риск; длительные сроки окупаемости нововведений); производственные факторы (низкий инновационный потенциал предприятия; недостаток квалифицированного персонала; недостаток информации о новых технологиях; недостаток информации о рынках сбыта; невосприимчивость предприятия к нововведениям; недостаток возможностей для кооперирования с другими предприятиями и научными организациями); другие факторы (отсутствие необходимости в нововведениях в силу осуществленных ранее; недостаточность правовой базы; неопределенность сроков инновационного процесса; неразвитость инновационной инфраструктуры; неразвитость рынка технологий) [2].

Наиболее важной из указанных причин являются вопросы финансирования. Инновационная деятельность характеризуется высоким уровнем вложений в ее осуществление. Главная роль в решении указанной задачи принадлежит государству, как основному владельцу предприятий ОПК.

Сегодня в ОПК поступают значительные объемы финансовых средств со стороны государства. Вместе с тем в настоящее время существует проблема недостаточности объемов государственного финансирования.

Одним из инструментов стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК являются целевые программы, которые, в свою очередь, представляют собой совокупность инструментов, форм и методов, посредством которых и осуществляется государственное финансирование и стимулирование инновационной деятельности. Однако основной проблемой является то, что реализуемые программы не ориентированы на развитие приоритетных задач, предлагаемые государством инструменты поддержки не соответствуют реальным потребностям. Кроме того, переход к рыночным отношениям меняет условия и цели развития предприятий.

Проведенный анализ реализуемых форм и методов показал, что существующие отдельные формы и методы, предлагаемые государством, не дают должного эффекта на практике, так как в полной мере не решают поставленной задачи стимулирования инновационной деятельности. Инструменты не должны действовать изолированно друг от друга. Возникает необходимость применения обоснованного набора допустимого множества форм и методов стимулирования инновационной деятельности с учетом особенностей предприятий ОПК, отвечающим заданным критериям эффективности, учитывающим принципы инновационной деятельности предприятий ОПК, а также их сочетание на всех уровнях реализации: федеральном, региональном и местном.

В связи с изменениями, появившимися в результате реформирования ОПК, характеризующими современное состояние ОПК и его возможности в инновационной деятельности, а также в связи с наметившимися тенденциями снижения инновационного потенциала и необходимостью его коммерциализации, возникает необходимость в государственном финансировании и стимулировании инновационной деятельности предприятий, в изменении принципов стимулирования инновационной деятельности.

Реализация сформулированных требований учтена авторами в предложенных инструментах выбора форм и методов стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК (рис. 1).

На первом этапе проводится анализ и формируется совокупность различных существующих форм и методов стимулирования инновационной деятельности. Затем определяются принципы финансирования и стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК.

К таким принципам относятся:

1) принцип достаточности объемов финансирования;

2) принцип финансирования инновационной деятельности различными уровнями бюджета;

3) принцип зависимости использования форм и методов стимулирования от стадий инновационного процесса;

4) принцип оптимального соотношения форм и методов стимулирования на возвратной и безвозвратной основе.

На следующем этапе определяется необходимый объем финансовых ресурсов (требуемый капитал – ТК) для реализации инновационных проектов – *принцип достаточности объемов финансирования.* Проведенный анализ современного состояния инновационной деятельности предприятий позволил сделать вывод о том, что многие предприятия, нацеленные на осуществление инновационной деятельности, не имеют достаточного объема финансовых ресурсов.

Данный принцип предполагает решение следующих задач:

1) обеспечение дополнительного объема денежных средств, необходимых для осуществления инновационной деятельности;

2) облегчение механизма получения денежных средств;

3) снижение стоимости предоставляемых средств.

Для того чтобы обеспечивать непрерывность и систематичность инновационной деятельности, нужны значительные объемы вложений. Процесс финансирования инновационной деятельности достаточно капиталоемкий.

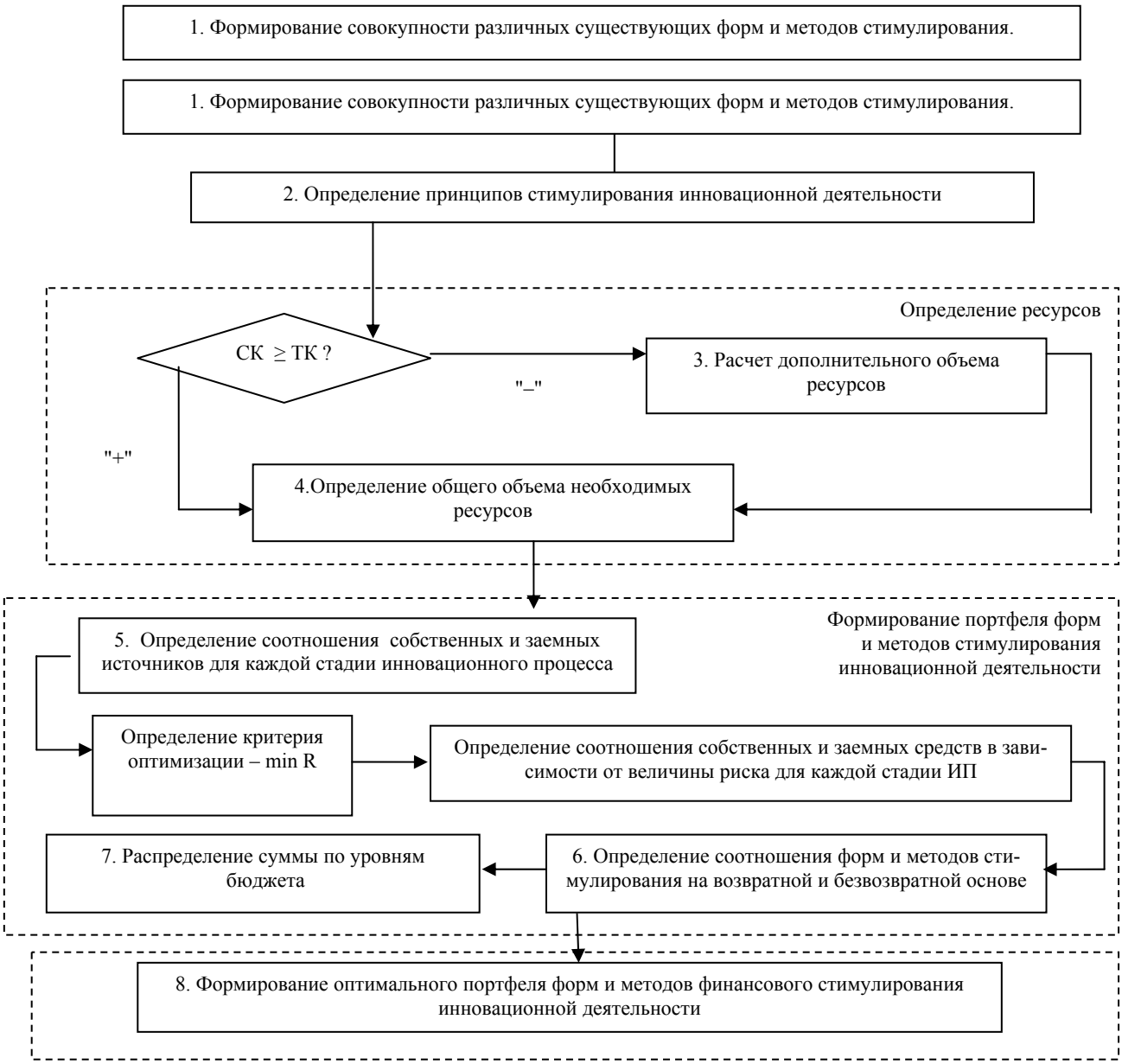


Рис. 1. Алгоритм отбора форм и методов стимулирования инновационной деятельности

Из-за нехватки собственных средств предприятий (собственный капитал – СК) на реализацию инновационных проектов, нередко возникает вопрос о дополнительном объеме финансовых ресурсов. Однако инновационная деятельность характеризуется трудностью привлечения средств на финансовом рынке. Неразвитость финансового рынка, с одной стороны, усложняет процесс размещения акций и облигаций. С другой стороны, несмотря на то, что предприятия в результате реформирования стали акционерными обществами, основным акционером предприятий ОПК остается государство, которое как основной держатель акций определяет деятельность предприятий, тем самым способствуя снижению инвестиционной привлекательности, сложности привлечения частных инвестиций. Данная ситуация на сегодняшний день усиливает роль государства в финансировании инновационной деятельности предприятий ОПК.

Система финансирования является одним из основных инструментов реализации государственной политики в области инновационной деятельности. Государство должно решать задачу предоставления достаточного объема финансирования, необходимого для успешной реализации инновационных проектов. Через совокупность различных форм и методов государство может стимулировать процесс осуществления инновационной деятельности.

Решение задачи предоставления объемов финансирования заключается не в факте предоставления средств, а в том, чтобы сумма была достаточной для успешной реализации инновационного проекта. Государство должно решать задачу как прямого финансирования, так и стимулирования инновационной деятельности.

В настоящее время существует проблема недостаточности объемов государственного финансирования.

Далеко не каждое предприятие может получить необходимую сумму. В большинстве случаев средства, выделяемые государством, предоставляются на конкурсной основе. Все это затрудняет получение достаточного объема государственных средств. Таким образом, должна быть решена задача, способствующая облегчению получения необходимого объема финансовых ресурсов.

В связи с тем, что прямое финансирование характеризуется ограниченными возможностями бюджета, финансовое стимулирование приобретает более значимую роль. Государство должно создавать такие условия осуществления инновационной деятельности, которые бы сделали предприятия инвестиционно привлекательными для других инвесторов. Через прямое финансирование и стимулирование должна быть решена задача получения объемов финансирования, достаточных для покрытия существующих потребностей.

Как уже отмечалось, инновационная деятельность представляет собой достаточно капиталоемкий процесс. Предприятия, осуществляемые инновационную деятельность, сталкиваются с вопросом определения такого соотношения источников финансирования, посредством которого можно добиться максимальной эффективности использования собственного капитала. Нередко возникает необходимость сочетания различных форм и методов финансирования.

При разработке портфеля форм и методов стимулирования инновационной деятельности необходимо решить две задачи:

1) определить соотношение финансовых ресурсов на возвратной и безвозвратной основе на разных стадиях инновационного процесса;

2) распределить предоставляемые финансовые ресурсы по уровням бюджета.

В первую очередь должна быть решена задача определения соотношения предоставляемых средств на возвратной и безвозвратной основе. Данная задача решается для каждой стадии и вне зависимости от уровня бюджета.

Решается указанная задача на основании принципов зависимости использования форм и методов стимулирования от стадий инновационного процесса и оптимального соотношения форм и методов стимулирования на возвратной и безвозвратной основе.

Принцип зависимости использования форм и методов стимулирования от стадий инновационного процесса может быть реализован посредством решения задачи соотношения государственных денег, предоставляемых в форме стимулирования, в зависимости от стадий инновационного процесса.

С точки зрения задачи стимулирования, инновационный процесс можно разделить на две стадии: первая стадия включает в себя научные исследования и конструкторские разработки (фундаментальные исследования; прикладные научные исследования; опытно-конструкторские работы), вторая стадия представляет собой процесс коммерциализации инновационного продукта от запуска в производство и выхода на рынок и далее по основным фазам жизненного цикла продукта [3; 4].

Разные этапы инновационной деятельности могут быть профинансированы из разных источников.

Начальные стадии инновационного процесса должны быть финансово обеспечены государством. Это связано с тем, что в этой области невозможен прямой возврат вложений, что делает их непривлекательными для инвесторов. Не все результаты таких исследований реализуются в новые продукты. Первые стадии инновационного процесса характеризуются высоким риском вложений.

Таким образом, соотношение государственных вложений, собственных средств предприятия или заемных должно быть определено для каждой стадии инновационного процесса в зависимости от величины риска. Чем больше риск, тем больше должна быть доля государственных финансовых средств, предоставляемых виде прямого финансирования. Государство как основной собственник ОПК должно рисковать и предоставлять большую часть необходимых денежных средств. Причем предоставление должно осуществляться на безвозвратной основе.

По мере осуществления инновационного процесса и перехода к опытному производству и промышленному освоению, суммы предоставляемые государством должны уменьшаться. На данных стадиях возрастает роль стимулирования. Причем стимулирование должно осуществляться посредством форм и методов на возвратной основе. Это связано с тем, что на конечных стадиях инновационного процесса появляется возможность коммерциализации разрабатываемого инновационного продукта, тогда как фундаментальная наука ни продавать, ни патентовать результаты исследований не может. Для предприятий становится возможным получение дохода, поэтому на данном этапе финансирование предприятий, осуществляющих инновационную деятельность, можно реализовывать в форме косвенного стимулирования на возвратной основе.

Следующий принцип – *принцип оптимального соотношения форм и методов стимулирования на возвратной и безвозвратной основе*.

Организация финансирования должна быть направлена на сочетание источников финансирования, и планировать быстрое и эффективное внедрение инноваций с их коммерциализацией, обеспечивающей рост финансовой отдачи от вложений.

Финансирование инновационной деятельности может осуществляться как за счет собственных, так и за счет заемных финансовых ресурсов.

В связи с тем, что инновационная деятельность характеризуется непредсказуемостью результатов, в качестве оптимизационного критерия соотношения собственных и заемных денежных средств рекомендуется использовать показатель риска.

Риск зависит от стадий инновационного процесса. В зависимости от определенной величины риска и устанавливается оптимальное соотношение собственных и заемных средств для каждой стадии инновацi-

онного процесса. Чем выше риск, тем больше должна быть доля собственного капитала по сравнению с заемным, чтобы закрыть оборотные активы предприятия без возникновения риска [5].

Определение соотношения собственных и заемных источников финансирования инновационной деятельности используется в качестве инструмента, который позволяет определить необходимость наращивания собственного и (или) заемного капитала. Далее определяется форма предоставления денежных средств, их оптимальное соотношение, т. е. какими средствами финансировать активы предприятия, предоставляемыми на возвратной или безвозвратной основе.

Безусловно, в первую очередь выгодны те источники финансирования, которые даются на безвозмездной и безвозвратной основе. Это государственное финансирование, которое носит ограниченный характер. В условиях ограниченности финансовых ресурсов безвозвратное предоставление бюджетных средств выступает исключением. В большинстве случаев, бюджетные средства вылеляются на возвратной основе. Как следствие, возможными источниками финансирования инновационных деятельности предприятий становятся заемные источники.

Использование заемных источников затрудняет деятельность предприятия. Возникает риск снижения финансовой устойчивости, платежеспособности. Использование средств на возвратной основе предполагают собой принцип возвратности, платности, срочности. Высокая степень риска невозврата предоставляемых денежных средств приводит их к выдаче под какое-либо материальное обеспечение. Устанавливаются сроки возврата, определенная плата за предоставленные денежные средства в виде процента. Средства предприятия, образованные за счет заемных источников, приносят меньшую прибыль за счет выплаты процента во всех его формах. Но вместе с тем использование заемных источников может привести к повышению эффективности выделяемых бюджетных средств. В связи с этим возникает необходимость решения задачи установления оптимального соотношения денежных средств на возвратной и безвозвратной основе. Решение задачи установления оптимального соотношения позволит повысить эффективность инновационной деятельности предприятий.

После того, как определена необходимая сумма инвестиционных ресурсов (и общая сумма инвестиционных вложений), соотношение собственных и заемных средств для стадий инновационного процесса, необходимо распределить эти суммы по различным уровням бюджета.

На данном этапе реализуется принцип *финансирования инновационной деятельности разными уровнями бюджета*. Необходимость привлечения различных уровней бюджета также определяется процессом коммерциализации инновационного потенциала предприятий, осуществляющих инновационную деятельность. Со стороны регионов возникает интерес к развитию инновационного потенциала этих предприятий, задачей которого является вопрос стимулирования их развития. В связи с возникновением задачи стимулирования инновационной деятельности на региональном уровне, возникает и необходимость участия регионов в процессе финансирования.

Задача распределения объемов финансирования между уровнями бюджета может быть решена двумя способами:

– распределение согласно принципу инициативности;

– распределение согласно принципу равной эффективности.

Принцип равной эффективности. Эффективность вложения средств для каждого уровня бюджета определяется соотношением результата к инвестиционным затратам.

Согласно предлагаемому принципу эффективности различных уровней бюджета, они должны быть равны между собой.

Доход может быть получен в виде дивидендов, процентов, налоговых поступлений. Инвестиционные вложения осуществляются всеми уровнями бюджета в различных формах: приобретение акций, облигаций; капитальные вложения; целевое финансирование; субсидирование; налоговые льготы и др.

Инвестиционные ресурсы, предоставляемые каждым уровнем бюджета в различных формах, определяются по выражению:

$$\frac{Д_р}{И_р} = \frac{Д_ф}{И_ф},$$

где $Д_ф$ – доходы, поступающие в федеральный бюджет; $Д_р$ – доходы, поступающие в региональный бюджет; $И_р$ – объем инвестиций, предоставляемый региональным уровнем бюджета; $И_ф$ – объем инвестиций, предоставляемый федеральным уровнем бюджета.

Принцип инициативности. При осуществлении инновационной деятельности инвесторы могут вкладывать средства не в один, а в несколько объектов. Средства, выделяемые на разработку и реализацию инновационных проектов, носят ограниченный характер. Одним из важных вопросов, возникающих при рассмотрении источников финансирования инновационной деятельности, является распределение инвестиций между центром и регионами.

В регионах реализуется большинство инновационных программ, но не все из них в состоянии самостоятельно покрыть расходы, связанные с инновационной деятельностью. В данном случае между региональными проектами возникает конкуренция за финансовые ресурсы федерального бюджета. Именно регион, выступая инициатором, может взять на себя большую часть вложений. Конкурируя с проектами других регионов, инициатор берет на себя также и большую степень риска вложений, тем самым повышая эффективность федерального уровня бюджета, становясь для него инвестиционно привлекательным. Определение того, реализовывать ли проект, осуществлять вложения, или отказаться от него, можно представить в виде алгоритма (рис. 2).

Рис. 2. Этапы методики определения объемов инвестирования инновационной деятельности предприятий ОПК различными уровнями бюджета

Уровень доходности инвестируемого проекта должен оставаться выше альтернативных вариантов вложений, т. е. проект должен оставаться рентабельным и инвестиционно привлекательным для инвестора.

Распределение объемов финансирования инновационной деятельности согласно рассмотренным принципам инициативности и равной эффективности позволяет достичь экономически обоснованного распределения инвестиционных потоков между уровнями бюджета. Также указанные принципы позволяют повысить эффективность и учесть нагрузку каждого уровня бюджета.

Сформулированные принципы и предложенные методы учитывают особенности инновационной деятельности предприятий ОПК и способствуют решению задач эффективного развития инновационной деятельности, ее финансирования и стимулирования.

Выбор множества форм и методов стимулирования инновационной деятельности должен осуществляться, исходя из поставленных задач. Формирование и применение обоснованного набора форм и методов позволит повысить эффективность стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК. При этом определенные формы и методы должны учитывать принципы инновационной деятельности предприятий ОПК, отвечать заданным критериям эффективности. Основными критериями эффективности должны быть указанные ранее критерии – бюджетная эффективность реализации проекта и минимум риска вложений для инвестора.

Библиографические ссылки

1. Телеинформационная сеть ВПК. Информационное агентство [Электронный ресурс]. URL: www.vpk.ru.

2. Наука России в цифрах. Центр исследований и статистики науки [Электронный ресурс] : статистич сб. URL: http://www.csrs.ru.

3. Основные этапы инновационных процессов и источники их финансирования: конспект экономиста [Электронный ресурс]. URL: http://konspekts.ru.

4. Евграфова И. Ю., Красникова Е. О. Инновационный менеджмент. Библиотека Либрусек [Электронный ресурс]. URL: http://lib.rus.ec.

5. Базилевич А. И. Инновационный менеджмент предприятия: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям экономики и управления / под ред. В. Я. Горфинкеля. М. : ЮНИТИ–Дана, 2009.

Yu. V. Erygin, A. M. Saakyan

TOOLS OF CHOICE OF FORMS AND METHODS OF STIMULATION OF INNOVATION ACTIVITY AT ENTERPRISES OF DEFENCE INDUSTRY COMPLEX

The authors show the current state of innovation activity at the enterprises of defense industry and justify the need to develop instruments for its promotion. The principles are formulated and tools are offered, for choice of forms and methods of state stimulation of innovation activity of the industry.

Keywords: the enterprises of defense industry complex (DIC), the principles, forms and methods for stimulation of innovation activity.

© Ерыгин Ю. В., Саакян А. М., 2011

УДК 336.144.2

Т. В. Зеленская, И. В. Простакова, О. С. Голощапова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЮДЖЕТНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ И ИНЫХ РАСХОДОВ БЮДЖЕТА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Рассматривается опыт города Красноярска по внедрению и использованию инструментов программно-целевого планирования для повышения эффективности бюджетных инвестиций и иных расходов бюджета города, по внедрению муниципальных программ – аналога государственных программ РФ.

Ключевые слова: программно-целевое планирование, ведомственная целевая программа, муниципальная программа.

Управление расходами бюджета представляет собой важную часть бюджетной политики и в значительной мере определяется состоянием бюджетного процесса, порядком планирования, утверждения и исполнения бюджета в части расходов, в том числе на инвестиции, а также контролем над его исполнением. Активная работа по повышению эффективности расходов бюджета за счет внедрения в практику управления государственным сектором и общественными финансами концепции программно-целевого бюджетирования или бюджетирования, ориентированного на результат (БОР), и ее отдельных элементов ведется в ряде стран.

Впервые попытка по внедрению элементов БОР была предпринята в США в 50-х годах прошлого века [1]. Во второй половине прошлого века в разных странах, таких как Великобритания, Нидерланды, Франция, Германия, Австралия, были опробованы различные методы и подходы, направленные на превращение бюджета в эффективный инструмент достижения целей государственной политики, повышения качества управления общественными финансами и достижения значимых для общества результатов [2; 3].

Несмотря на то, что использование инструментов БОР в практике управления государственными финансами разных стран мира осуществляется уже на протяжении многих лет, нельзя назвать ни одну страну, где этот процесс можно было бы считать окончательно завершившимся. Однако достоинства этого метода намного превышают издержки и количество стран, использующих в той или иной мере методы и инструменты бюджетирования, ориентированного на результат, который постоянно увеличивается.

Внедрение бюджетирования, направленного на результат как системный подход к управлению государственными финансами в РФ, было начато в 2004 г. с принятия Постановления Правительства РФ от 22.05.2004 № 249 «О мерах по повышению результативности бюджетных расходов», одобрившего также Концепцию реформирования бюджетного процесса в Российской Федерации в 2004–2006 гг. (далее также – Концепция) и план мероприятий по ее реализации.

В рамках реализации Концепции большое внимание уделялось совершенствованию методов бюджетного планирования. Реформирование бюджетного процесса предполагалось осуществить посредством перехода преимущественно к программно-целевым методам бюджетного планирования, обеспечивающим прямую взаимосвязь между распределением бюджетных ресурсов и фактическими или планируемыми результатами их использования в соответствии с установленными приоритетами государственной политики.

Расширить сферу применения и повышения качества программно-целевых методов бюджетного планирования можно за счет использования следующих инструментов бюджетирования:

– ежегодных докладов о результатах и основных направлениях деятельности главных распорядителей бюджетных средств (ДРОНД);

– долгосрочных и ведомственных целевых программ;

– государственных (муниципальных) услуг.

Для стимулирования органов исполнительной власти Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований Российской Федерации по разработке и внедрению методов бюджетного планирования проводились эксперименты по внедрению методов бюджетного планирования, направленных на результаты.

В рамках данных экспериментов из федерального бюджета выделялось около 200 млн руб. в год (в 2004–2007 гг.), которые распределялись на конкурсной основе между органами исполнительной власти, субъектов РФ и муниципальными образованиями РФ и реализуемыми ими программами реформирования муниципальных финансов [4].

Муниципальное образование – город Красноярск – принимало участие в эксперименте. В рамках реализации Программы реформирования муниципальных финансов города Красноярска на 2006–2007 гг. [5] осуществлялись следующие мероприятия, направленные на переход к бюджетированию, ориентированному на результат, основанному на применении в бюджетном процессе среднесрочного планирования:

– создавалась система учета потребности в предоставляемых бюджетных услугах;

– разрабатывались стандарты качества предоставления бюджетных услуг;

– повышалась самостоятельность бюджетных учреждений;

– использовалась среднесрочное финансовое планирование;

– формировались среднесрочные ведомственные программы (далее ВЦП).

Вопрос разработки ведомственных целевых программ – одного из важнейших инструментов бюджетирования, позволяющего осуществить переход к программно-целевому методу планирования на федеральном уровне – урегулирован Постановлением Правительства РФ от 19.04.2005 № 239 «Об утверждении Положения о разработке, утверждении и реализации ведомственных целевых программ». Бюджетный кодекс РФ (ст. 179.3) содержит норму о возможности распределения бюджетных ассигнований на реализацию ведомственных целевых программ в бюджетах всех уровней РФ. При этом субъектам РФ и муниципальным образованиям предоставлено право самостоятельно принимать решение как о целесообразности внедрения ВЦП, так и о подходах к формированию нормативно-правовой основы разработки, утверждения и реализации ВЦП [6].

При разработке нормативной правовой базы – постановления администрации города Красноярска от 23.08.2005 № 448 «Об утверждении Положения о порядке разработки, утверждения и реализации ведомственных целевых программ», и последующем внедрении ВЦП в рамках реализации Программы реформирования муниципальных финансов города Красноярска на 2006–2007 гг. был использован подход, принятый на федеральном уровне. Указанный подход имел ряд недостатков: существовала неопределенность в выборе целевых индикаторов (показателей), характеризующих решение задач программы и хода ее реализации; отсутствовала единая методика оценки эффективности ведомственных целевых программ. Предусматривалось, что ведомственные целевые программы могут формироваться в двух видах:

– утверждаемая ведомственная целевая программа – утверждаемый комплекс взаимоувязанных мероприятий, направленных на решение конкретной тактической задачи, стоящей перед главным распорядителем средств бюджета города, описываемой измеряемыми целевыми индикаторами;

– аналитическая ведомственная целевая программа – выделяемая в аналитических целях при подготовке ДРОНД группировка расходов, направленных на решение конкретной тактической задачи, стоящей перед главным распорядителем средств бюджета города, описываемой целевыми индикаторами.

Кроме того, субъекты бюджетного планирования были в праве утвердить ВЦП, намеченную к финансированию из бюджета действующих обязательств и ВЦП, предлагаемую к финансированию (полностью или частично) из бюджета принимаемых обязательств.

В 2009 г. после всестороннего изучения существующего опыта и выбора основных подходов к разработке ВЦП, созвучных с подходами, применяемыми на уровне субъекта РФ (Красноярский край), порядок разработки, утверждения и реализации ведомственных целевых программ был существенно доработан и утвержден постановлением администрации города Красноярска от 07.07.2009 № 86-а «Об утверждении Положения о порядке разработки, утверждения и реализации ведомственных целевых программ».

Данным постановлением установлены макет ВЦП и отчет о ее реализации, введены показатели, характеризующие достижение цели и результатов реализации программы (целевые показатели и показатели результативности ВЦП), сформированные на основе показателей результативности деятельности органов администрации города. Четко определены органы администрации города, имеющие право разрабатывать ВЦП, исключена возможность разрабатывать ВЦП двух видов, что позволило унифицировать ведомственные целевые программы и повысить долю программных расходов бюджета города Красноярска.

Ежегодная оценка эффективности ВЦП осуществляется в соответствии с постановлением главы города Красноярска от 22.11.2006 № 912 «О порядке проведения оценки эффективности и результативности расходов бюджета города» с использованием следующих критериев:

– полнота и эффективность использования средств бюджета города на реализацию ВЦП;

– степень достижения целевых показателей ВЦП;

– степень достижения показателей результативности ВЦП.

Эффективность реализации ведомственной целевой программы оценивается органом администрации города, реализующим ВЦП, в четыре этапа раздельно по каждому критерию оценки:

1-й этап – оценка эффективности реализации программы по критерию «полнота и эффективность использования средств бюджета города на реализацию программы»;

2-й этап – оценка эффективности реализации программы по критерию «степень достижения целевых показателей программы»;

3-й этап – оценка эффективности реализации программы по критерию «степень достижения показателей результативности программы»;

4-й этап – итоговая оценка эффективности реализации программы.

Указанная методика позволяет однозначно интерпретировать оценку эффективности ведомственных целевых программ, реализуемых на территории города.

Доля расходов бюджета города, постоянно увеличивается: 2009 г. – 66 %; 2010 г. – 92 %; 2011 г. – 87 %.

Ведомственные целевые программы включают в себя все расходы главных распорядителей средств бюджета города.

В 2011 г. в городе Красноярске реализуется 11 ВЦП, которые охватывают все основные сферы деятельности органов местного самоуправления (социальная сфера, транспорт, общественная безопасность, город-

ское хозяйство и т. д.) и, следовательно, большую часть расходов бюджета города.

Кроме того, в городе реализуются долгосрочные городские целевые программы, под которыми понимается комплекс социально-экономических, научно-исследовательских, организационно-хозяйственных и иных мероприятий, взаимосвязанных и согласованных между собой по задачам, ресурсам и срокам реализации, обеспечивающих эффективное решение наиболее значимых проблем общегородского значения в области экономического, социального, культурного и иного развития города Красноярска. Почти все городские целевые программы включены в состав ВЦП.

С принятием в 2010 г. Программы Правительства Российской Федерации по повышению эффективности бюджетных расходов на период до 2012 г. (Распоряжение Правительства РФ от 30.06.2010 г. № 1101-р) наступил новый этап в развитии бюджетной реформы, начатой с внедрения в 2004 г. бюджетирования, ориентированного на результат.

Программой Правительства Российской Федерации по повышению эффективности бюджетных расходов на период до 2012 г. предусматривается внедрение государственных программ, охватывающих все сферы деятельности органов исполнительной власти и, соответственно, большей части бюджетных ассигнований, и переход к программному формированию бюджетов всех уровней бюджетной системы РФ.

Под государственной программой Российской Федерации (далее – государственная программа) понимается документ, определяющий цель, задачи, результаты, основные направления и инструменты государственной политики, направленные на достижение целей и реализацию приоритетов, установленных Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г., либо обеспечивающий реализацию в установленные сроки крупномасштабных мероприятий общенационального или международного значения.

Аналогичное понятие – понятие государственной программы – предстоит ввести на уровне Красноярского края как субъекта Российской Федерации.

Действия для муниципальных образований в данном направлении не определены.

В рамках единой политики Российской Федерации и Красноярского края, в соответствии с приказом Минфина РФ № 194н, Минэкономразвития РФ № 701 от 29.12.2010 г. «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке и реализации региональных и муниципальных программ повышения эффективности бюджетных расходов», постановлением администрации города Красноярска от 14.10.2011 г. № 458 утверждена Программа повышения эффективности бюджетных расходов города Красноярска на 2011–2012 гг. (далее также – Программа).

В рамках Программы предусматривается:

– повышение доли расходов, осуществляемых программно-целевым методом;

– разработка и внедрение муниципальных программ, которые по своей сути схожи с государственными программами;

– проведение оценки эффективности реализации муниципальных программ, с закреплением процедуры возможной корректировки муниципальных программ с учетом фактически достигнутых результатов в ходе их реализации;

– переход к программной структуре бюджета;

– создание системы управленческого учета в части расходов, осуществляемых программно-целевым методом;

– персонализация ответственности за качество финансового управления.

При этом подход к внедрению муниципальных программ, предложенный Программой повышения эффективности бюджетных расходов города Красноярска, имеет существенное отличие от подхода, реализуемого на уровне Российской Федерации. В рамках Программы предлагается трансформировать действующие ВЦП в муниципальные программы.

Как следует из самих определений, понятия государственной программы и ВЦП (в трактовке города) близки.

В Постановлении Правительства Российской Федерации от 19.04.2005 № 239 «Об утверждении Положения о порядке разработки, утверждения и реализации ведомственных целевых программ» дано следующее определение ВЦП: «комплекс взаимоувязанных мероприятий, направленных на решение конкретной тактической задачи, стоящей перед главным распорядителем средств федерального бюджета, описываемой измеряемыми целевыми индикаторами».

В Красноярске ВЦП решают не тактические задачи, а «цели и задачи деятельности, направленной на осуществление муниципальной политики в установленных сферах, обеспечение достижения целей и задач социально-экономического развития города Красноярска, повышение результативности расходов бюджета города Красноярска, и содержащий комплекс мероприятий по их решению с указанием необходимых финансовых ресурсов, ожидаемых результатов и сроков реализации» (постановление администрации города Красноярска от 07.07.2011 г. № 86-а «Об утверждении Порядка разработки, утверждения и реализации ведомственных целевых программ»).

Например, целью ВЦП «Развитие муниципальной системы образования города Красноярска» является повышение качества организации предоставления общедоступного и бесплатного начального общего, основного общего, среднего (полного) общего образования по основным общеобразовательным программам, дополнительного образования, общедоступного бесплатного дошкольного образования на территории города Красноярска, отдыха и оздоровления детей.

Для достижения цели указанной программы предполагается решить следующие задачи:

– создать условия для безопасного и комфортного пребывания в образовательных учреждениях, в том числе через развитие материально-технической базы образовательных учреждений;

– создать дополнительные места в дошкольных образовательных учреждениях и апробировать альтернативные формы дошкольного образования;

– обеспечить обновление структуры и содержания образования, в том числе через внедрение новых образовательных стандартов, использование разных форм получения образования, развитие дистанционного обучения детей с ограниченными возможностями здоровья;

– совершенствовать организацию школьного питания;

– обеспечить развитие системы воспитания, дополнительного образования, выявлять и поддерживать талантливых детей, организовывать отдых детей в каникулярное время;

– формировать систему моральных и материальных стимулов работников образовательных учреждений.

Таким образом, город Красноярск находится в более выигрышном положении, имея опыт реализации ВЦП, которые близки, по сути, государственным программам.

Принципиальные отличия ВЦП и планируемых к формированию муниципальных программ заключаются в следующем:

1) формирование действующих ВЦП происходит вне увязки с долгосрочными целями социально-экономического развития города.

В отличие от действующих ВЦП, новые муниципальные программы должны формироваться исходя из четко определенных долгосрочных целей социально-экономического развития города и индикаторов их достижения;

2) инвентаризация расходов бюджета города в 2011 г. на предмет внедрения программно-целевого метода формирования расходов показала, что 87 % всех расходов бюджета – это программные расходы (расходы, сформированные в рамках ВЦП), а 13 % – непрограммные. Из сорока главных распорядителей средств бюджета города двадцать пять имеют программные расходы в объеме 100 %.

Муниципальные программы предполагают охватывать все сферы деятельности органов администрации города и, соответственно, большую часть бюджетных ассигнований.

Не войдут в муниципальные программы расходы, осуществляемые вне системы органов администрации города, например, расходы Красноярского городского Совета депутатов, Избирательной комиссии города Красноярска, Контрольно-счетной палаты города Красноярска. Поскольку данные органы не входят в структуру органов администрации города Красноярска, администрация города не вправе устанавливать для них какие-либо цели и настаивать на принятии программ;

3) в настоящее время ресурсным обеспечением реализации ВЦП являются бюджетные ассигнования, выделяемые из бюджетов всех уровней. Однако бюджетные ассигнования – лишь часть имеющегося в распоряжении органов местного самоуправления ресурса.

Например, не учитывается такой фактор, как налоговые льготы. Направленность у таких льгот самая разная: от развития экономики до решения социальных вопросов.

Немаловажную роль играет и муниципальное имущество: в частности, здания, имущество учреждений, которые в этих зданиях располагаются, активы муниципальных предприятий, которые пока тоже напрямую не оцениваются как ресурс.

Еще один из важнейших ресурсов, который должен быть задействован в рамках реализации муниципальных программ, – это административный ресурс, связанный с теми широкими возможностями, которые дает нормативное регулирование. В некоторых случаях оно позволяет избежать необходимость тратить бюджетные средства для достижения некоего результата. Учесть этот ресурс – важнейшая задача, поэтому в состав муниципальных программ будут включаться планы законотворческой деятельности с концепциями соответствующих законов.

Таким образом, муниципальные программы, в отличие от ВЦП, помимо бюджетных ассигнований будут охватывать другие материальные ресурсы, находящиеся в их распоряжении, а также интегрировать регулятивные (правоустанавливающие, правоприменительные и контрольные) и финансовые (бюджетные, налоговые, имущественные, кредитные, долговые) инструменты для достижения целей;

4) принцип формирования ВЦП – ведомственный. Это означает, что средства на содержание, например, образовательных учреждений, разбросаны по ВЦП всех органов администрации города, имеющих их в своем ведении: главное управление образования администрации города, главное управление культуры администрации города, главное управление по физической культуре, спорту и туризму администрации города.

Принцип формирования муниципальных программ прямо противоположный – это принцип достижения целей. На упомянутом выше примере это означает, что все органы администрации города, имеющие в ведении образовательные учреждения, должны будут передать средства на их содержание и предоставление образовательных услуг в муниципальную программу «Развитие образования».

Когда они будут перемещены в соответствующую муниципальную программу, ответственность за которую будет нести профильный орган администрации города, это серьезно повлияет на качество их управления. Распорядителями бюджетных средств останутся те же органы администрации города, что и сейчас, однако в рамках муниципальных программ им придется гораздо более активно взаимодействовать с органом администрации города, ответственным за реализацию муниципальной программы.

В отличие от действующего порядка разработки, утверждения и реализации ВЦП, порядок формирования муниципальных программ подразумевает более жесткие требования к проведению оценки результа-

тивности и эффективности их реализации, оценки их вклада в решение вопросов модернизации и инновационного развития экономики с возможностью их корректировки или досрочного прекращения, а также установление ответственности должностных лиц в случае неэффективной реализации программ. Также появляется требование об обязательной внешней экспертизе муниципальных программ.

Учитывая, что в настоящий момент государственные программы РФ находятся в стадии формирования, отсутствуют методические рекомендации для муниципалитетов по внедрению муниципальных программ, которые по своей сути схожи с государственными программами. Перед муниципалитетом города Красноярска стоит непростая задача: не только внедрить муниципальные программы, но и провести, по сути, реформы муниципального управления. Будут затронуты все аспекты деятельности органов администрации города, и им придется выстраивать свои усилия и собственную структуру именно вокруг муниципальных программ.

Библиографические ссылки

1. Бюджетирование, ориентированное на результат: анализ мирового опыта и возможностей его распространения в России // Фонд «Институт экономики города». М., 2004.

2. Лавров А. М. Среднесрочное бюджетирование, ориентированное на результаты: междунар. опыт и российские перспективы // Финансы. № 3. 2004. С. 9–14.

3. Программный бюджет: лучшая практика / А. А. Беленчук, Л. А. Ерошкина, С. Е. Прокофьев и др. // Академия бюджета и казначейства Минфина России. Финансовый журнал. № 1. 2011 . С. 5–22.

4. Габуния Ф. Г., Патынян Я. М. Цена эксперимента // Бюджет. № 8. 2008. С. 48–50.

5. Об утверждении Программы реформирования муниципальных финансов города Красноярска на 2006–2007 гг. : постанов. администрац. г. Красноярска от 31.10.2005 г. № 551.

6. Ваксова Е. Е., Моисеев И. В. ВЦП в регионах // Бюджет. № 9. 2008. С. 46–49.

T. V. Zelenskaya, I. V. Prostakova, O. S. Goloschapova

USE OF THE PROGRAM BUDGETING TOOLS FOR INCREASE OF EFFICIENCY OF BUDGETARY INVESTMENTS AND OTHER EXPENSES OF BUDGET OF KRASNOYARSK CITY

The authors consider the experience of Krasnoyarsk city on introduction and use of the program budgeting tool for increase of efficiency of budgetary investments and other expenses of Krasnoyarsk budget, on introduction of municipal programs, which are the analog of government programs of the Russian Federation.

Keywords: program budgeting, departmental special-purpose program, municipal program.

Зеленская Т. В., Простакова И. В., Голощапова О. С., 2011

УДК 658.5.012.2

В. В. Куимов, М. А. Рагозина

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА: ПРИНЦИПЫ И ТИПОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ

Рассматриваются факторы, оказывающие влияние при формировании производственной программы предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), требования к инструментам стратегического планирования, а также типология продуктов предприятий ОПК.

Ключевые слова: факторы, принципы, производственная программа, типология продуктов.

Российский оборонно-промышленный комплекс – это совокупность научных, исследовательских, испытательных организаций и предприятий, выполняющих государственный оборонный заказ. ОПК по праву считается одним из ключевых секторов национальной экономики и сохраняет возможности для развития на его основе наукоемкого и высокотехнологичного производства. В настоящее время деятельность предприятий ОПК характеризуется существенным снижением объемов государственного оборонного заказа; снижением эффективности использования экономического потенциала; недостаточным финансированием НИОКР; зависимостью от экспортных заказов и высоким уровнем рисков в силу инновационного характера продукции. В этих условиях диверсификация производства, основанная прежде всего на использовании инновационного потенциала, является важнейшим фактором обеспечения как устойчивости,

так и повышения эффективности развития предприятий оборонно-промышленного комплекса. Огромное значение для обеспечения эффективности управления предприятиями ОПК имеет стратегическое планирование, в системе которого важным элементом является формирование производственной программы предприятия (ППП), учитывающее степень соответствия потенциала роста объема производства продукта экономическому потенциалу предприятия.

Комплексный характер задачи формирования производственной программы предприятий ОПК и специфические факторы, влияющие на функционирование и развитие, предъявляют особые требования к инструментам стратегического планирования. Недостаточный учет данных факторов, отсутствие адекватных методов планирования приводит к снижению эффективности и устойчивости деятельности предприятий ОПК. Данное обстоятельство обуславливает необходимость совершенствования принципов и методов стратегического планирования с целью обеспечения конкурентоспособности и устойчивости предприятий ОПК в новых экономических условиях.

Несмотря на значительное количество работ в области исследования проблем, возникающих при планировании производственной программы предприятий, многие прикладные, а также отдельные теоретические вопросы требуют своего разрешения и, как следствие, проведения дополнительных исследований. Прежде всего это относится к необходимости разработки специальных инструментов стратегического планирования производственной программы предприятий ОПК, учитывающих, с одной стороны, специфические особенности их деятельности, а с другой – степень соответствия потенциала роста объема производства продукта экономическому потенциалу предприятия.

Существующие системы планирования на предприятиях ОПК можно рассматривать как один из важнейших инструментов повышения эффективности их финансово-хозяйственной деятельности. Важная роль в решении этой задачи отводится формированию производственной программы предприятий. В процессе исследования были выявлены следующие специфические особенности деятельности предприятий ОПК: высокая зависимость от госзаказа при существовании реальной перспективы его прекращения; специфический характер назначения продукции, определяемый ее направленностью на обеспечение/удовлетворение стратегических интересов страны; наличие и неэффективное использование научно-технического потенциала; ограниченные возможности по передаче информации и технологий; необходимость использования созданного в рамках основного производства инновационного потенциала предприятия для изготовления конкурентоспособной конверсионной продукции и, как следствие, высокий уровень рисков; различный характер продуктов предприятий ОПК, обусловливающий необходимость совершенствования инструментария формирования ППП; отсутствие опыта работы в рыночных условиях и др.

Планирование ППП ОПК с учетом особенностей невозможно без систематизации факторов, влияющих на ее формирование. В процессе исследования была проведена систематизация данных факторов на основе следующих классификационных признаков: сфера проявления (маркетинговая; научно-техническая, производственная, материально-технического обеспечения, финансовая, управления персоналом и организационная); место возникновения события (внешние и внутренние); характер информации (детерминированный, вероятностно-неопределенный и стохастический); степень управляемости (управляемые и неуправляемые); степень влияния (значимые и незначимые); возможность прогнозирования (прогнозируемые и внезапные); область действия (оборонное и конверсионное производства); стадии инновационного процесса (фундаментальные и прикладные исследования, опытное производство и промышленное освоение) (табл. 1).

Классификационный признак по сфере проявления позволил определить факторы, влияющие на степень использования производственного, научно-технического, рыночного и экономического потенциала предприятия в целом.

Признак классификации факторов по характеру информации дает возможность учета неопределенности при формировании ППП ОПК. Результаты мониторинга изменения влияния факторов позволяют своевременно проводить корректировки производственной программы, обеспечивая ее актуализацию для потребителя.

Классификационный признак по области действия необходим для того, чтобы учесть факторы, проявляющиеся в каждой из двух полярных сфер функционирования предприятий ОПК. Такое деление факторов указывает на необходимость применения полифункционального планирования производственной программы объекта исследования, которое дает возможность учесть различия влияния совокупности факторов, действующих на оборонное и конверсионное производство.

Выделение и анализ факторов по стадиям инновационного процесса показал неоднородность их влияния на экономический потенциал различных предприятий ОПК. Структура экономического потенциала формируется под воздействием этих факторов, отражает специфику деятельности предприятия и определяет производственную программу предприятия ОПК.

Таким образом, преобладание вероятностно-неопределенных факторов и высокий уровень альтернативности развития предприятия указывают на необходимость использования методов и инструментов стратегического управления при формировании производственной программы, а выявленная неоднородность влияния наиболее значимых факторов на экономический потенциал позволяют обосновать необходимость определения основных типов продуктов предприятий ОПК.

Принципы стратегического планирования производственной программы должны учитывать выявленные особенности предприятий ОПК, закономерности и цели их развития, опираться на существующие теоретические положения и принципы планирования с целью установления общих правил разработки эффективных инструментов стратегического планирования (табл. 2).

Определение принципов стратегического планирования ППП ОПК позволяет разработать методику, адекватно отражающую особенности и тенденции развития объекта исследования. В связи с этим в ходе исследования были изучены и проанализированы основные принципы, предлагаемые различными специалистами.

Таблица 1

Классификация факторов, влияющих на формирование производственной программы предприятий ОПК

Сфера проявления	Факторы	По характеру информации			По области действия		По стадиям инновационного процесса			
		Детерминированные	Вероятностно-неопределенные	Стохастические	В оборонном производстве	В конверсионном	Фундаментальных исследований	Прикладных исследований	Опытное производство	Промышленное освоения
Маркетинговая	Размеры и доля рынка		*		*	*			*	*
	Уровень конкуренции на рынке		*		*	*			*	*
	Номенклатура продукции	*		*	*	*	*	*	*	*
	Конкурентоспособность продукции	*		*	*	*			*	*
	Динамика изменений внешней среды			*		*	*	*	*	*
Научно-техническая	Наукоемкость продукции	*			*		*	*		
	Наукоемкость технологии производства	*			*		*	*		
	Наличие новых конкурентоспособных разработок		*		*	*	*	*		
	Объем финансирования НИОКР	*			*		*	*		
Управления персоналом	Уровень обеспеченности персоналом по категориям и профессиям	*		*	*	*	*	*	*	*
	Уровень квалификации	*			*		*	*	*	
	Текучесть кадров		*		*	*	*	*	*	
	Выработка продукции на одного работника	*			*	*	*	*	*	*
Производственная	Вид 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	*				*			*	*
Финансовая	Высокая зависимость от государственного финансирования	*			*		*	*	*	*
	Уровень кредитоспособности		*		*	*				*
	Условия привлечения финансовых ресурсов		*		*	*				*
	Уровень инфляции			*	*					*
	Рентабельность активов		*		*	*				*
Организационная	Ориентация организационной структуры предприятия на выполнение заказов	*			*	*			*	*
	Эффективность менеджмента		*		*	*	*	*	*	*

Таблица 2

Особенности деятельности предприятий ОПК и требования к инструментам стратегического планирования ППП

Особенности предприятий ОПК	Требования к инструментам стратегического планирования ППП ОПК	Принцип планирования
Специфический характер назначения продукции, определяемый ее направленностью на обеспечение/удовлетворение стратегических интересов страны	Существование госзаказа обуславливает приоритетность оборонной продукции	Стратегическая направленность (ориентации)
Ограниченные возможности по передаче информации и технологий	Необходимость соблюдения особых информационных условий, ограничивающих кооперацию и передачу технологий	Закрытость (ограниченность)
Существование двух полярных сфер функционирования предприятия, проявляющихся в наличии оборонного и конверсионного производств	Критерии формирования ППП должны структурироваться на две части, учитывая, таким образом, ориентацию производства на гособоронзаказ и выпуск конверсионной продукции	Полифункциональность
Особенности формирования производственной программы обусловлены существованием различных типов продукта предприятий ОПК	При формировании производственной программы основополагающим выступает тип продукта предприятия ОПК, определяющийся степенью использования экономического потенциала на основе влияния факторов	Формирование производственной программы на основе вариантности типов продукта

Анализ принципов планирования ППП, предложенных рядом авторов, таких как Р. Акофф, А. Файоль, М. М. Алексеева, М. И. Бухалков, В. В. Глухов, В. А. Горемыкин, М. В. Макаренко, О. М. Махалин, Б. А. Соловьев, Э. А. Уткин, Р. А. Фатхутдинов, В. В. Царев и др., позволил сделать вывод о неоднозначности толкования принципов стратегической направленности (ориентации), закрытости (ограниченности), полифункциональности, формирования производственной программы на основе вариантности типов продуктов применительно к стратегическому планированию ППП ОПК.

Принцип стратегической направленности (ориентации) предполагает определение и структурирование стратегических целей и задач предприятия с учетом необходимости удовлетворения стратегических интересов страны при планировании ППП ОПК.

Принцип закрытости (ограниченности), во-первых, предполагает необходимость соблюдения особых требований, ограничивающих возможности предприятий ОПК в установлении межхозяйственных связей и передаче технологий. Во-вторых, принадлежность предприятий к сфере ОПК обуславливает возможность их дальнейшего развития, но не позволяет выйти за рамки специализации до тех пор, пока существует устойчивая потребность в их продукции со стороны государства. При этом становится проблематичным обеспечение высокой конкурентоспособности продукции гражданского назначения, которая будет уступать по экономическим характеристикам продуктам-аналогам предприятий-производителей, не принадлежащих к сфере ОПК.

Принцип полифункциональности заключается в одновременном существовании двух полярных сфер предприятия ОПК, проявляющихся в наличии оборонного и конверсионного производств, имеющих существенные различия в целях, воздействующих факторах, схемах финансирования и степени неопределенности.

Инструменты планирования производственной программы должны учитывать тип продукта предприятия ОПК, характеризующийся степенью использования экономического потенциала. Таким образом, принцип формирования производственной программы на основе учета вариантности типов продукта предполагает необходимость разработки адекватных методов стратегического планирования производственной программы.

Предложенные в процессе исследования принципы и уточнение их содержания определены с учетом выявленных особенностей деятельности и целей развития предприятий ОПК. Они являются основой для разработки методики стратегического планирования производственной программы предприятий ОПК.

Различный характер продукции, производимой на современном этапе предприятиями, не позволяет предложить универсальных методов стратегического планирования, что, безусловно, требует учета особенностей и разработки методов, отвечающих условиям формирования производственной программы предприятий. Выявленные особенности предприятий ОПК, обусловленные уникальностью и специфичностью оборонного производства, позволили определить признаки и выделить типы продуктов предприятий ОПК, максимально использующие существующий экономический потенциал.

Экономический потенциал оборонной промышленности принято считать наиболее прогрессивным и приспособленным для освоения производства высокотехнологичной продукции. Основываясь на положении о том, что структура экономического потенциала отражает специфику деятельности предприятия, были выделены основные элементы экономического потенциала предприятий ОПК. Экономический потенциал рассматривается как система, структурными элементами которой являются производственный потенциал (ПП), научно-технический (НТП) и рыночный (РП).

Для учета неоднородности характера влияния факторов на различные продукты была разработана типология продукта производственной программы, основанная на использовании признаков, отражающих степень применения структурных элементов экономического потенциала. Каждый из выделенных типов продукта неоднороден в силу различного влияния факторов, таких как уровень инновационности продукта на различных стадиях (стадия фундаментальных исследований (ФИ), прикладных исследований (ПИ), стадия опытного производства (ОП) и промышленного освоения (ПО)); технологическая однородность продукции; сырьевая однородность продукции (табл. 3).

Как показал анализ влияния факторов, экономический потенциал продуктов гособоронзаказа определяется степенью использования производственного и научно-технического потенциалов; продуктов военно-технического сотрудничества и продуктов двойного назначения – степенью использования производственного и рыночного потенциалов; продуктов конверсионного производства – степенью использования производственного, научно-технического и рыночного потенциалов, продуктов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ – степенью использования научно-технического потенциала.

Таким образом, предложенная типология позволяет определить тип продукта по степени использования экономического потенциала предприятий ОПК и выбрать адекватный метод планирования при решении задачи управления производственной программой предприятия оборонно-промышленного комплекса.

Таблица 3

Типология продуктов предприятий ОПК

Признак	Тип продукта				
	Продукт гособоронза-каза (ГОЗ)	Продукт военно-технического сотрудничества (ВТС)	Продукт двойного назначения (ДН)	Конверсионный продукт (К)	Продукт научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР)
Степень использования производственного потенциала	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая
Степень использования научно-технического потенциала	Высокая	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая
Степень использования рыночного потенциала	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая	Низкая
Степень использования экономического потенциала	ПП + НТП	ПП + РП	ПП + РП	ПП + НТП + РП	НТП
Состав стадий инновационного процесса	ФИ + ПИ + + ОП + ПО	ПО	ПО	ФИ + ПИ + + ОП + ПО	ФИ + ПИ + ОП
Технологическая однородность	+	+	+	+	–
Сырьевая однородность	+	+	+	–	–

V. V. Kuimov, M. A. Ragozina

STRATEGIC PLANNING OF THE PRODUCTION PROGRAM OF THE ENTERPRISES OF THE DEFENSE INDUSTRIAL SECTOR: PRINCIPLES AND TYPOLOGY OF PRODUCTS

In the article the authors consider the factors producing effect on formation of the production program of enterprises of DIC, requirements to the tools of strategic planning, and develop the typology of products of enterprises of DIC.

Keywords: factors, principles, production program, typology of products.

© Куимов В. В., Рагозина М. А., 2011

УДК 332.1:629.73

Ю. А. Лютых

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ РОССИИ ЗА СЧЕТ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО ПОТЕНЦИАЛА

Рассматриваются некоторые вопросы повышения сырьевой составляющей природных ресурсов в развитии страны, регионов при межотраслевом перераспределении природной ренты, обеспечения эволюционного перехода к устойчивому развитию регионов.

Ключевые слова: природные ресурсы, рента, государственное регулирование.

Под устойчивым развитием применительно к природным ресурсам подразумевается обеспечение экономической безопасности, как страны, так и ее регионов посредством создании надлежащей минерально-сырьевой базы для увеличения текущих и перспективных потребностей экономики с учетом экологических, социальных, демографических, оборонных и других факторов.

Экономический рост развитых стран, как свидетельствует проводимый анализ, составляет 2–3 % в год и достигается, главным образом, за счет внедрения высоких технологий. Полагаем поэтому, что российская экономика должна удвоить этот темп экономического роста. Только в таком случае будет обеспечиваться рост сокращения отставания России от развитых стран по уровню ВВП на душу населения.

Указанный экономический расчет должен быть не ниже указанного, и это может быть достигнуто за счет добычи, переработки и эксплуатации минерально-сырьевых ресурсов.

Российская экономика в первой половине XXI в., полагаем, сохранит свою сырьевую направленность. Потенциальная ценность балансовых запасов полезных ископаемых России позволяет рассматривать минерально-сырьевой комплекс как базис устойчивого развития страны на длительную перспективу.

Наличие богатых природных ресурсов дает широкий простор для экономического развития регионов Урала, Сибири, Дальнего Востока. Хозяйственное освоение здесь природных ресурсов создает реальные возможности привлечения крупномасштабных инвестиций, в том числе иностранного капитала, а за счет экспорта природных ресурсов обеспечивается значительная часть валютных поступлений.

Это обуславливается следующими обстоятельствами:

– географическим положением, при котором жизнеобеспечение невозможно без значительного потребления минеральных ресурсов;

– преимущественно сырьевым укладом экономики с ориентацией на добычу, переработку и передел минерального сырья;

– наибольшей привлекательностью ресурсов недр для иностранных инвесторов;

– крупными территориями и выполненными на них в предшествующие десятилетия геологоразведочными работами, сделавшими ресурсы недр весьма существенным элементом национального богатства.

Стратегическим фактором экономического роста России в ближайшее время должна стать структурная перестройка национальной экономики на основе имеющихся минерально-сырьевых ресурсов страны с целью существенного повышения ее эффективности. Особая сложность этой задачи состоит в том, что необходимо перестраивать отраслевую и производственную структуры, которые складывались в условиях планово-распределительной системы и полной изоляции от мирового рынка. Указанное обстоятельство определило в новых условиях низкий уровень эффективности работы обрабатывающей промышленности, неконкурентоспособность большей части ее продукции на мировом рынке и, как следствие, снижение объемов производства и ликвидацию многих предприятий данного сектора экономики.

Сырьевые и, в частности, добывающие отрасли промышленности не в состоянии адсорбировать огромную массу рабочей силы, высвобождающуюся из перерабатывающих отраслей экономики. В то же время большая часть добывающих предприятий не обладает достаточным инвестиционным потенциалом не только для расширенного, но и простого воспроизводства основных фондов. Так, в угольной промышленности более двух третей основных фондов находится за чертой физического взноса, в газовой и нефтяной отраслях до 40 % оборудования эксплуатируется более 25 лет [1].

В этой связи процесс структурной перестройки национальной экономики должен основываться на восстановлении отечественной обрабатывающей промышленности и ее всесторонней интеграции с добывающими отраслями, а также формировании наиболее эффективных конкурентоспособных компаний.

Наиболее перспективной формой такой интеграции должно стать создание, при всесторонней поддержке государства и регионов, крупных финансово-промышленных корпораций межотраслевого профиля, которые могли бы конкурировать с транснациональными корпорациями Запада.

Сегодняшнее финансовое состояние предприятий добывающей и обрабатывающей промышленности – использование в процессе производства неконкурентоспособных технологий, отсутствие ассигнований на геолого-разведочные работы – все это заставляет при поддержке государственных органов организовать финансово-промышленные группы, способные акку-

мулировать значительные финансовые средства на внутреннем мировом рынках капитала.

Основные приоритеты государства при создании межотраслевых финансово-промышленных групп с активным участием регионов, должны быть направлены:

– на повышение эффективности использования минерально-сырьевых ресурсов и создание необходимых условии для перевода экономики на ресурсосберегающий путь развития;

– поддержание и наращивание экспортного потенциала страны изменение его структуры в пользу торговли продуктами переработки и промышленной продукции;

– развитие обрабатывающей промышленности и ее экспортного потенциала и др.

Обозначившийся в России процесс становления промышленно-финансовых групп на базе отдельных отраслей (газовой, энергетической, нефтяной, алюминиевой и др.) знаменует формирование нового этапа развития – объединение многоотраслевых комплексов с финансовым и коммерческими структурами.

Эти комплексы должны определять темпы преобразования и подъема экономики всех регионов страны как стабильный источник бюджетных поступлений, формирования прорывных технологий, структуризации и модернизации базовых отраслей промышленности.

Независимо от того, в чьей собственности находятся природные, в частности, минеральные ресурсы, государство в праве регулировать процесс их освоения и использования в интересах страны в целом, регионов, отдельных собственников.

В централизованно управляемой экономике природопользование находилось вне сферы рыночных отношений. В начале рыночных реформ в России на некоторое время государство выпустило из рук стратегическое управление природно-ресурсным комплексом. Это обернулось застоем национального природно-ресурсного потенциала, развалом в течение многих десятилетий геологической отрасли.

Но сейчас рыночная эйфория экономических реформ по истечению уступает место более взвешенному подходу, допускающему возможность и признающему необходимость регулирующего воздействия государства на хозяйственные процессы в целом и на природопользование в частности.

Практика стран с развитой рыночной экономикой дает нам немало примеров эффективного государственного вмешательства в долговременные проекты освоения природных ресурсов.

Жизнь показывает, что современная стратегия рационального ресурсопотребления не может базироваться исключительно на возможностях рынка как такового. Это тем более относится к переходным состояниям экономического развития, а значит, и к народному хозяйству России.

Рыночный механизм даже в развитых странах не обеспечивает решение стратегических задач природопользования, охраны природы, устойчивой экономической безопасности.

В России, следовательно, необходимо реализовать такую систему рационального природопользования, которая обеспечивает органическое сочетание рыночных механизмов саморегулирования и поддержки рационального ресурсопотребления и ресурсосбережения.

В этом процессе активную позицию должны занимать субъекты РФ, особенно богатые минерально-сырьевыми ресурсами, в таких подсистемах, как: а) правовое обеспечение; б) финансово-кредитная поддержка; в) инфраструктурное и информационное обеспечение; г) страхование от чрезвычайных происшествий и стихийных бедствий. Можно также выделить подсистемы научного обеспечения, экологического и экономического образования, повышении квалификации.

Рациональное ресурсопотребление и ресурсосбережение – проблема комплексная и многоплановая. Наряду с социально-экономическими и экологическими аспектами исследователями выделяются аспекты технико-технологические. Совершенствование и кардинальное обновление технологий должно быть поставлено во главу угла развертывания предпринимательской деятельности. Россия пока остается многоукладной не только по формам собственности, но и по так называемым технологическим укладам. При этом у нас господствует третий – ресурсозатратный – уклад, пройденный развитыми странами еще в конце 70-х годов, а четвертый – технологический – уклад, связанный с переходом на ресурсосберегающие инновационные технологии, представлен только в ряде производств ВПК.

С помощью разработки и внедрения технологий новых укладов предстоит прежде всего обеспечить эффективное ресурсопотребление предпринимательскими структурами в топливно-энергетическом и аграрно-промышленном комплексах, в отраслях и сферах производственной, социальной и рыночной инфраструктуры.

В целях рационализации ресурсопотребления необходимо создать соответствующие организационно-экономических условия. Рыночный механизм, как уже отмечалось, сам по себе не в состоянии решить весь комплекс рассматриваемых проблем, ряд противоречий устраняется посредством научно обоснованного государственного регулирования.

Речь идет о противодействии монопольному использованию природных ресурсов крупными корпоративными структурами, тормозящими инновацию и нарушающими нормы природопользования, об обеспечении чистоты биосистемы, блокировании экологического загрязнения и т. д. Во всех развитых государствах в наибольшей мере (хотя и далеко не всегда результативно) регулируется именно природопользование.

При этом основными стратегическими задачами для природно-ресурсного блока являются завершение перехода к рациональному сочетанию администра-

тивных и экономических методов государственного регулирования в области природопользования; формирование эффективной системы органов управления, четкая координация и разграничение сфер их деятельности; развитие правовой базы в целях стимулирования инновационного и инвестиционного процессов; оптимизация объемов и расширение диверсификации источников инвестиций при воспроизводстве, потреблении и охране природных ресурсов; осуществление государственной поддержки научных исследований как важнейшей исходной части технологического цикла в области изучения, воспроизводства, использования и охраны природных ресурсов; создание условий для сбалансированного природопользования как основного фактора устойчивого развития страны; обеспечение разграничения функции и прав федеральных органов и субъектов Российской Федерации в сфере природопользования; учет региональных особенностей и потребностей природопользования при совершенствовании структуры экономики России в целом и конкретных регионов.

Полагаем, усилия государства в настоящее время должны быть направлены на решение следующих проблем: совершенствование природно-ресурсного законодательства, в том числе усиление административной и иной ответственности за его нарушения; углубление и совершенствование экономического механизма природопользования; уточнение и корректировку системы лицензирования, и регламентации режимов природопользования; разработку механизма аудита в области природопользования; расширение перечня видов природных ресурсов, используемых на платной основе; создание действенного механизма финансового обеспечения программ и мероприятий по воспроизводству и охране природных ресурсов, формирование критериев и требований к разграничению государственной и иных видов собственности на природные ресурсы, а также создание федерального фонда резервных месторождений полезных ископаемых и иных видов естественных богатств и др.

Правительство Российской Федерации в 2010 г. утвердило документ «Стратегия социально-экономического развития Сибири до 2010 г.» (распоряжение № 1120-р), целью которого является обеспечение устойчивого повышения уровня и качества жизни населения на основе сбалансированной социально-экономической системы инновационного типа, гарантирующей национальную безопасность, динамичное развитие экономики и реализацию стратегических интересов России в мировом сообществе.

Среди приоритетных отраслей данной стратегии, наряду с развитием промышленности, строительства, биотехнологии, нанопромышленности, машиностроения и других отраслей на основе новых технологий, остаются добыча и первичная переработка природных ресурсов (нефть, газ, лес, черные, цветные, благородные и редкоземельные металлы), реконструкция перерабатывающих производств, интенсивная геология, освоение новых месторождений, т. е. минерально-сырьевая составляющая будет занимать важное место в развитии экономического потенциала Сибири.

Реализация принятой стратегии должна обеспечиваться прежде всего источниками финансирования. Одним из них может стать рента природных ресурсов.

В этой связи вновь обратимся к производствам, связанным с добычей полезных ископаемых, особенно нефти и газа. Главной экономической особенностью их производства является высокий спрос (востребованность) на продукцию на мировом рынке, что обеспечивает получение сверхприбыли. Но это сырье по своему происхождению является природным даром, принадлежит государству и всему населению страны. Поэтому весьма актуальным является формирование эффективных и социально справедливых межотраслевых и территориальных отношений, различных отраслей народного хозяйства с добывающими отраслями, связанными с разработкой недр земли, продукция которых обеспечивает получение высокой рентабельности в сравнении с другими отраслями народного хозяйства.

Справедливое перераспределение этого ресурса при умелом управлении процессом может привести к восстановлению и поддержке в данное время «угасающих» (бесприбыльных, но крайне необходимых обществу) отраслей и производств, особенно их инфраструктуры. Полагаем, налогообложение добывающих отраслей, а также депрессивных регионов, целесообразно рассматривать системно с учетом их народно-хозяйственной значимости, рентабельности и других показателей, не снижая в целом налогооблагаемую базу и уровень доходной части. Возможное увеличение налогообложения за счет природной ренты может обусловить некоторое снижение объемов добычи невозобновляемых природных ресурсов в регионах (нефть, газ, руда и др.), их экономии, но это приведет к необходимости активизации работ по их глубокой переработке, освоению научно-технических достижений в замещающих производствах, постепенному переходу к инновационному развитию.

В нефтяном комплексе России уровень доходов работников, рентабельность производства намного выше средней по промышленности, что несопоставимо с данными в других сферах [2].

Было бы стратегической ошибкой жить только за счет нефти – невозобновляемого природного ресурса, запасы которого, по оценкам специалистов, ограниченны.

Получаемые доходы от использования природных ресурсов целесообразно направлять на развитие научно-технического прогресса других отраслей, интеллектуального потенциала общества, новые технологии, научные исследования, образование, здравоохранение, и на этой основе обеспечивать создание условий для повышения качества жизни населения страны. Страны, получающие доходы от природных ресурсов, как правило, централизуют их у собственника – государства.

В Норвегии, например, нефтяные компании возвращают государству 78 % прибыли. Через бюджет

эти средства расходуются на социальные нужды, обеспечивая населению страны один из самых высоких в мире уровней жизни. Средства, остающиеся после финансирования образования, медицины и других социальных нужд, инвестируются в экономику или вкладываются в ценные бумаги.

В США собственниками недр могут быть и государство, и частные компании. Размер платы за пользование недрами и направления расходования собранных средств определяется местными органами (в штатах), в которых производится добыча. С учетом этого в условиях России платежи по природной ренте следовало бы направлять в федеральный бюджет и региональные бюджеты, и целенаправленно расходовать на социальные нужды, комплексное развитие и обустройство городов и сел, развитие инфраструктуры.

В мировой практике нет понятия ренты, а есть плата за пользование недрами (в России это экспортная пошлина и налог на добычу полезных ископаемых). Этот ресурс в нашей стране может рассматриваться как временная мера при условии, что относительно короткий период его использования для справедливого межотраслевого регулирования через бюджет непременно послужит для мобилизации и вовлечения других источников роста доходов. В этой связи термин «природная рента» целесообразно заменить понятием «налоговая нагрузка» на отрасль, что не меняет сути проблемы и является приемлемым, но при этом в названии будет утрачено природное происхождение налога.

По имеющемся оценкам, в последние годы, которые для нефтяной отрасли были удачными (это состояние продолжается), сверхдоход от превышения цены на нефть в России, по отдельным источникам, государство и нефтяные компании разделили примерно поровну, по другим источникам – компаниям достается до 65–70 % доходов, а в разных странах лишь одна треть остается у самих добывающих компаний, и две трети дохода изымается государством. Из этих международных сравнений следует, что есть реальные возможности для определенного (возможно, ограниченного) увеличения налогообложения [2; 3].

При рассмотрении сравнительного уровня межотраслевого налогообложения выявляются и многие другие резервы. Например, многие предприятия металлургической промышленности, которые, используя оффшорные зоны, практически не платят налогов на своих территориях (или доля изъятия государством очень низкая), а выручка металлургов, использующих природные ископаемые, превышает 500–600 млрд руб. [4].

В газовой промышленности имеются также немалые резервы роста отчислений в бюджет страны и регионов. Одним из реальных показателей роста величины ренты, а значит, и налогов, может рассматриваться показатель разницы на газ в ценах экспортных (внешних) и внутреннего рынка. Эти различия в значительной мере связаны с отсутствием необходимого в настоящее время количества перерабатывающих заводов. Следует искать и другие источники роста.

За последние годы в Российской Федерации стал складываться определенный, хотя еще не достаточный баланс в изъятии и перераспределении доходов отраслей, получающих природную ренту [3].

Вполне очевидно, что без решения неотложных проблем повышения качества жизни населения страны трудно рассчитывать на успешное проведение модернизации в ближайшей и даже отдаленной перспективе. Поэтому необходимо активно «подтягивать» важные государству и обществу отрасли, сферы, социальное развитие до среднеевропейского уровня.

Библиографические ссылки

2. Огарков А. П. Социально-экономическое развитие и обустройство села. М. : РАСХН, 2007. С. 398.

4. Беляков Д. И. Природная рента: за и против // Российская газета. 2003. 31 окт.

3. Милосердов В. В. Аграрная политика России XX века. М. : ВНИЭТУСХ, 2006. С. 543.

4. Путин В. В. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития российской экономики // Записки горного института. СПб. Т. 144 (1).

Yu. A. Lyutykh

IMPROVEMENT OF STABILITY OF ECONOMY OF THE REGIONS OF RUSSIA AT THE COST OF MINERAL AND PRIMARY PRODUCTS POTENTIAL

Some issues of increase of the natural resource raw component in a profitable part of the country budget, socially fair inter-branch redistribution of the natural rent, and maintenance on this basis of the evolutionary transition to steady innovative development, are considered in the article.

Keywords: natural recourses, rent, state regulation.

© Лютых Ю. А., 2011

УДК 338.45:3.001:332.1

В. И. Лячин

ОБОРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В СТРУКТУРЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА

Рассматриваются материальные и организационные условия реализации оборонной промышленностью воспроизводственной функции в российской экономике.

Ключевые слова: воспроизводство, место оборонной промышленности в структуре воспроизводства, воспроизводственная функция ОПК, инновационный способ производства.

В настоящее время международная экономическая конкуренция становится важнейшим внутренним фактором развития всех стран, в том числе и США. Разразившийся осенью 2008 г. мировой финансово-экономический кризис, с одной стороны, со всей очевидностью обнажил тот факт, что угроза национальной экономической безопасности обусловлена прежде всего внешними источниками, а именно, международной конкуренцией в мировой экономике, с другой – показал, что принять вызов международной конкуренции может только страна в целом, а не отдельная, пусть и транснациональная корпорация или, как в нашей стране, так называемый нефтегазэнергосбыт.

Нарастание угрозы национальной безопасности, обусловленной внешними источниками, неизбежно обостряют противоречия международных политических отношений, поэтому остается актуальной задача обеспечения оборонно-промышленной безопасности страны. Однако она может быть эффективно решена на новой технологической основе в условиях перехода российской экономики на инновационную модель развития, а в границах вышеназванной модели – при условии подчинения функционирования оборонно-промышленного комплекса (ОПК) потребностям инновационного роста экономики в целом.

Научное обоснование такой роли ОПК предполагает исследование его сквозь призму общественного воспроизводства.

Воспроизводственная функция ОПК страны на самом абстрактном уровне обнаруживается в характере его отношений к конечному потреблению как решающей фазе воспроизводства. Последнее, в свою очередь, предполагает разработку научного представления о месте и роли самого конечного потребления в системе воспроизводственных отношений.

Известно, что абстрактных экономических систем не бывает, они всегда характеризуются конкретно-историческим содержанием и специфической социальной природой, которая определяет удельный вес и значение всех составляющих сегментов общественного воспроизводства, в том числе и оборонно-промышленного комплекса. В СССР ВПК подчинял себе гражданское производство, которое не имело источников самостоятельного развития, так как финансировалось государством по остаточному принципу. По сути дела, гражданское производство кредитовало ВПК на безвозвратной и безвозмездной основе. Подобного рода отношение между конечным потреблением и потребностями военно-промышленного комплекса носило дихотомический характер, т. е. осуществлялось по формуле «или–или»: «или пушки, или масло».

При таком соотношении между производством и потреблением ВПК проявлял отрицательную воспроизводственно-хозяйственную функцию, ибо он тормозил рост экономической системы как экономической целостности. Сразу же после установления советской власти приоритетность развития обороноспособности нашей страны достигалась за счет производства предметов личного потребления.

Развитие военно-промышленного комплекса СССР за счет подавления личного потребления явилось одной из причин его развала. Переход страны к рыночной экономике оказался гораздо более эффективным стимулятором быстрого экономического роста именно потому, что существующий рынок потребительских товаров имеет автономное и ведущее значение в системе воспроизводственных рыночных отношений. Данный рынок невозможно полностью подчинить, как это делалось в СССР, интересам военно-промышленного комплекса. Конечное потребление как главная фаза воспроизводства в рыночной экономике является решающей именно потому, что ориентация производства на личное потребление приводит в движение механизм долгосрочного экономического роста, а, следовательно, и рост технического прогресса. В связи с этим созидательная воспроизводственная функция ОПК как раз и обнаруживается лишь в том случае, если ОПК включен в процесс обеспечения долгосрочного экономического роста на основе технического прогресса, а не является сферой деятельности, финансирование которой тождественно безвозвратной растрате национального богатства страны, что, в конце концов, приводит к подрыву и обороны, и вообще национальной безопасности страны. В границе дихотомии «или пушки, или масло» имеет место парадокс: чем больше средств страна инвестирует в обеспечение национальной безопасности, тем быстрее она создает факторы ее подрыва.

Природа названного парадокса в настоящее время осознана российским правительством, что нашло отражение в Указе Президента Д. Медведева «О стратегии национальной безопасности РФ до 2020 г.». Новая стратегия должна заменить директивы 1997 г. Особенность нового документа состоит в том, что впервые в нем тема безопасности трактуется не как тради-

ционное наращивание военной силы любыми средствами, а как производное от развития экономики и социальной сферы, как обеспечение достойных условий жизни в России. Фактически впервые на правительственном уровне речь идет о воспроизводственной функции ОПК, поскольку предпринимается попытка преодолеть дихотомию оборонных и гражданских отраслей и связать рост национальной безопасности страны с ростом благосостояния ее населения. Однако практическое решение задач новой стратегии национальной безопасности РФ должно быть поставлено на научную основу. Последнее означает, во-первых, необходимо изучать механизм функционирования ОПК РФ в системе рыночных отношений, так как в советский период военно-промышленный комплекс (ВПК) не вступал в конкуренцию с гражданским сектором экономики ни за рабочую силу, ни за материальные и финансовые ресурсы.

В нормальной же рыночной экономике источником финансирования ВПК является потребительский рынок, точнее сектор производства потребительских товаров. Чем выше производительность труда в этом секторе, тем больше труда и капитала общество может направить в сектор ВПК. Именно поэтому производство товаров народного потребления (ТНП) должно было технически оснащаться в первую очередь. Именно в пределах данной связи становится ясным, что источником капитала вообще является труд, занятый в сфере производства потребительских товаров. И если страна не имеет развитой сферы производства жизненных средств, то она не имеет отечественных источников развития ОПК.

Если исходить из того, что именно сектор производства товаров народного потребления является приоритетным в системе воспроизводственных отношений, то и экономический рост, увязанный с техническим прогрессом, следует понять с учетом данного факта. В действительности экономический рост обеспечивается приоритетным развитием на основе новейших технологий сектора, производящего товары народного потребления, т. е. товары конечного потребления. Если рост конечного потребления в системе общественного воспроизводства является источником развития экономической системы в целом, в том числе и ОПК как ее составляющей, то становится понятным в исходном пункте и воспроизводственная функция ОПК. ОПК должен стать одним из факторов роста конечного потребления, а не только сектора, обеспечивающего оборону страны. Таким образом, в современной рыночной экономике у ОПК обнаруживаются две функции – оборонная и воспроизводственная.

Разработка путей выхода российской экономики из кризиса имеет два взаимосвязанных аспекта: международный и внутренний. Первый – обусловлен тем, что сложившаяся модель экономического развития РФ характеризуется жесткой встроенностью отечественной экономики в глобальные воспроизводственные процессы по линии массированных поставок сырья и материалов. Второй – обусловлен тем, что при действующей в России экономической модели, опирающейся на внешние факторы развития, страна утратила самодостаточность и стратегическую инициативу в развитии национального хозяйства. Последнее по сути дела имеет прямой выход на решение проблем национальной безопасности и стратегических ориентиров в развитии ОПК РФ.

Мировой финансово-экономический кризис 2008 г. еще раз подтвердил историческую ограниченность либерально-капиталистического способа производства, не способного устранить катастрофические причины глобальных циклов. И хотя в среде ученых экономистов до сих пор нет однозначного и ясного понимания причинно-следственных связей, порождающих глобальные кризисы, но есть общее представление о необходимости перехода мировой экономики к новому способу производства. Без сознательного учета качественных характеристик процесса в выборе путей и средств преодоления последствий экономического кризиса невозможно вывести Россию на решение задач восстановления воспроизводственного процесса в качестве основы национального хозяйства.

В отечественной научной литературе обосновывается мысль о том, что к настоящему времени Россия еще не осуществила ключевые задачи индустриальной экономики, но решать их по-старому, т. е. на основе мобилизационной хозяйственной логики уже невозможно, поскольку мировое хозяйство вступило в постиндустриальную эру. В связи с этим поиски путей вывода российской экономики из кризиса и обоснование перспективных направлений развития ОПК могут достигать целей при условии учета закономерностей перехода мировой экономики к новому общественному способу производства. Учитывая качественные характеристики «новой» фазы в развитии общественного производства, можно определить ее как инновационный способ производства.

В инновационном способе производства в непрерывном обновлении (в процессе инновации) находится не только технико-технологический базис общества, но и производственные отношения.

Для того чтобы установить качественную определенность инновационного способа производства, необходимо, во-первых, учесть наличие двух связанных, но несводимых друг к другу отношений: отношений непосредственных производителей к материальным условиям производства и отношений производителей к потребителям; во-вторых, выяснить, что принципиально нового вносит инновационный способ производства в вышеназванные отношения. В индустриальном обществе непосредственные производители (капиталист и рабочий) были связаны через рынок труда (система наемного труда), а производитель с потребителем через рынок товаров и услуг. Причем в последнем случае над производителем довлел рынок, и он ориентировался на рыночные цены. В инновационном способе производства внутри производственного процесса работники перестают рассматриваться в качестве одного из производственных ресурсов и все больше включаются в непосредственный

процесс управления производством. Изменилась и связь производителя с потребителем. Если раньше производитель и потребитель существовали как отдельные акторы, встречающиеся только на рынке, то в условиях инновационного способа производства производитель непосредственно ориентируется не на рыночные цены, а на конкретные потребности конкретных потребителей. Теперь до процесса производства, на его начальной стадии потребитель становится соучастником индивидуализированного производства. Таким образом, возникновение инновационного способа производства означает переворот в хозяйственной жизни общества. Его члены освобождаются от необходимости работать и жить исключительно ради непрерывного производства и расширенного воспроизводства ресурсов, технологий и других средств для обеспечения хозяйственной деятельности. Общество получает возможность использовать накопленные блага, опыт хозяйствования, инновационные технологии в экономической и социальных сферах для повышения качества жизни своих членов.

Инновационный способ производства по своей сущности есть миросистемный способ производства. Вне процессов глобализации экономики он не имеет характеристик целостности, его нельзя понять вне глобальных координат.

В условиях перехода российской экономики на инновационную модель развития существенно изменяется роль и значение оборонно-промышленного комплекса страны: он переходит в ранг ключевых видов деятельности по развитию инновационного наукоемкого производства. Известно, что 80–90 % прироста ВВП в промышленно развитых странах приходится на долю новых знаний, воплощенных в технике и технологиях. В таких условиях ОПК не только призван обеспечивать обороноспособность страны на современной технологической основе, но, в свою очередь, стать ведущим источником новых знаний, поступающих в бизнес и превращающихся там в конкурентноспособный продукт.

В связи с этим на инновационном этапе развития рыночной экономики открывается принципиально новое направление интеграции ОПК с потребностями расширенного воспроизводства экономики. Речь идет о непрерывном использовании ОПК в процессе производства товаров и услуг во всех сферах экономики и в деле повышения качества управления.

Выявление сущности инновационной деятельности как специфической экономической деятельности необходимо связать с определенной ступенью в развитии рыночной экономики, в пределах которой инновационная деятельность, во-первых, становится массовым и всеобщим явлением, во-вторых, в структуре капитала возникает особый его вид – инновационный капитал.

Необходимость инновационной деятельности возникает в рамках постиндустриального общества, в котором экономика столкнулась с фактом относительного перепроизводства товаров, это поставило потребителей товаров (покупателей) в господствующее положение на рынке. Теперь покупатель выбирает товар и предпочтение, которое он оказывает товару при покупке, существенно влияет на объем продаж. В такой рыночной ситуации, являющейся результатом развитого рыночного хозяйства, производитель должен продавать и производить товар, который не только обладает высококачественной потребительной стоимостью, но и свойствами, адресуемыми к сознанию, мышлению и образу жизни потребителя. В результате в инновационной экономике производители вынуждены ориентироваться не только на создание потребительных стоимостей, удовлетворяющих фундаментальные потребности покупателей, но и учитывать их социальную природу. Престижные и модные товары, бренды, упаковка, реклама – все это связано с инновационной деятельностью.

В конечном счете цель конкуренции между товаропроизводителями сводится к установлению рыночной власти прежде всего над потребителями. Но в пределах «рынка потребителя» рыночная власть оказывается в руках покупателей и чтобы устранить их монополизм, продавцам требуется проникнуть в «сердце и сознание» покупателей. Использование ценового механизма (конкуренция по цене) и улучшение потребительских свойств товаров (конкуренция за качество) теряет силу в деле установления власти над сознанием потребителей: здесь решающее значение приобретает сама уникальность производимого товара и услуг. В связи с этим можно предложить определение инновационного капитала, как капитала, производящего уникальные товары и услуги. Структура инновационного капитала включает в себя капитал, авансируемый на приобретение «мозгов и чувств» потребителей. Производство уникального товара представляет собой непосредственное единство производства товара и производства «средств» приобретения власти над потребителем, забывать о существенных различиях в вышеназванных направлениях деятельности было бы большой ошибкой и с научной, и с практической точки зрения.

Инновационный капитал как материальная основа инновационной деятельности отличается по качеству от обычного промышленного капитала. Например, требование к наемному труду в процессе функционирования инновационного капитала особого рода: каждый отдельный работник и персонал предприятия должны проявлять творческое отношение к делу, т. е. инновационный капитал «эксплуатирует» интеллектуальные способности наемных работников. Но при этом творческие способности индивидов должны быть развиты, что требует значительных вложений капитала в работника. В связи с этим можно утверждать, что инновационный капитал покупает на рынке труда не рабочую силу, а именно человеческий капитал, то есть высококвалифицированный, интеллектуально развитый, творческий труд. Отсюда ясно, что в инновационную деятельность втягиваются не индивиды, а по сути дела, личности, способные, в первую очередь, усваивать информацию и генерировать новые знания. В инновационной деятельности

занят не только «человеческий капитал», вместо переменного капитала в форме рабочей силы как товара, но и особого рода «организационный капитал», с помощью которого управление персоналом вступило в область управления именно человеческим капиталом. Специфика организационного капитала заключается в том, что он представляет собой осуществление таких видов деятельности, которые обеспечивают эффективное управление людьми в интересах личности, общества и бизнеса. Имеет место гармонизация названных интересов, и вне данной гармонии нет и не может быть инновационной экономики. Последнее означает, что ОПК в современных условиях не только не может нарушать единство вышеназванных интересов, но, напротив, должен интегрироваться с ними.

Качественная характеристика сферы конечного потребления в инновационной экономике, отражающая возрастание роли и значения потребления в воспроизводственных рыночных отношениях, подводит к пониманию невозможности ОПК функционировать за счет сужения сферы личного потребления, ибо последняя должна обеспечивать воспроизводство человеческого капитала как ключевого фактора инновационного капитала.

Изучение ОПК в качестве системной составляющей инновационного способа производства относится к макроэкономическому направлению экономической мысли, в котором сложные представления об экономической системе сведены к четырем агрегированным категориям: доход, сбережения, инвестиции и потребление. Определение источников инновационного развития предприятий ОПК предполагает учет органического единства вышеназванных экономических явлений. Включение проблем перспективного развития предприятий ОПК в систему воспроизводственных отношений, характеризующих экономику страны как целостность, задает особое направление исследования, а именно, изучение способов включения деятельности ОПК в развитие отечественного потребительского и инвестиционного рынков. Исходный принцип взаимодействия предприятий ОПК с экономикой страны заключается в ориентации их деятельности на производство конечного результата народного хозяйства.

Нередко в специальной литературе воспроизводственная функция ОПК трактуется в упрощенном виде, а именно: как способность предприятий ОПК создавать наряду с вооружением товары технического назначения для гражданских отраслей, производить товары народного потребления (ТНП) и самостоятельно выходить с ними на рынок, открывая тем самым для себя дополнительный источник «живых» денежных средств.

Как же тогда должна реализовываться воспроизводственная функция ОПК, если не считать конверсию единственным способом ее осуществления? На наш взгляд, основная задача ОПК – специализация на производстве оборонных средств, а его воспроизводственная функция заключается в разработке научных знаний, обеспечивающих технический прогресс всех отраслей экономики, а также в предоставлении услуг, имеющих общенациональное значение и инфраструктурный характер.

В связи с переходом на рыночные принципы хозяйствования коренным образом изменяется значение сферы производства товаров конечного потребления. Именно она вместе с производством средств производства для изготовления предметов потребления превращается в источник средств для расширенного производства или, другими словами, экономического роста. В условиях рынка гражданский сектор экономики, ориентированный на платежеспособный спрос населения, непрерывно финансируется и кредитуется населением через рынок потребительских товаров. А это означает, что в новых условиях принудить экономику к первоочередному, да еще и безвозвратному кредитованию ОПК невозможно. Экономический рост гражданского сектора оказывается самостоятельным, не только независимым от потребностей роста ОПК, но и вступающим в конкуренцию с ним за денежные ресурсы. Деньги для ОПК приобретают решающее значение, тогда как в прошлом предприятия ОПК производили продукцию «любой ценой».

Подчеркнем еще раз: в системе рыночной экономики гражданский сектор, ориентированный на спрос населения, воспроизводится за счет платежеспособного спроса населения, а следовательно, он не зависим от государства, самостоятелен по отношению к нему. Однако гражданский сектор экономики воспроизводится не только за счет накопления капитала, функционирующего в этой сфере, но и за счет технического прогресса, который лежит в основе расширенного воспроизводства. ОПК может иметь перспективы собственного долгосрочного развития, если будет участвовать в обеспечении технического прогресса всей экономики и прежде всего производства товаров конечного потребления.

В условиях перехода российской экономики на инновационную модель развития ОПК неизбежно будет развивать принципиально новую функцию – функцию «локомотива» экономического роста всей экономики. Такого рода функцию ОПК мы называем воспроизводственной функцией.

В настоящее время ОПК возрождается. Он наращивает производственные мощности и научный потенциал. Однако возрождение ОПК страны не является лишь делом увеличения оборонного заказа и объемов финансирования предприятий ОПК. Восстановление ОПК должно осуществляться не только на основе использования современных средств научно-технического прогресса, но, что самое главное, на основе принципиально нового взаимодействия гражданского и оборонного секторов экономики. Иначе остается соблазн восстановить мобилизационный способ финансового и материального обеспечения оборонно-промышленного комплекса и «вернуться в историю», между тем как движение ОПК по пути прогресса должно быть связано с развитием его воспроизводственной функции.

Возрождающийся оборонно-промышленный комплекс сталкивается с хроническим дефицитом финансовых, а следовательно, и материальных ресурсов, для развития его инновационного и производственного потенциала. Естественно, для преодоления вышеназванного дефицита прежде всего необходимо обратиться к внутриотраслевым факторам, что вызывает необходимость осуществления реформ самого ОПК, а также реструктуризации предприятий, в него входящих. И именно в этом русле правительство приняло ряд нормативных актов, программных документов, направленных на развитие ОПК на ближайшие годы и перспективу. Однако развитие ОПК, особенно перспективное, не исчерпывается проведением реструктуризации, изменяющей характер взаимоотношений между субъектами ОПК и обеспечивающей наиболее эффективное использование ресурсов и привлечение инвестиций. Совершенствование и реформирование внутриотраслевых отношений ОПК в настоящее время, естественно, следует отнести к числу приоритетных направлений развития оборонно-промышленного комплекса. Что же касается его стратегического развития, то роль реструктуризации в этом процессе развития носит ограниченный характер, и прежде всего потому, что синергетический эффект, возникающий при реструктуризации предприятий ОПК, несравним с синергетическим эффектом, возникающим в результате вовлечения ОПК в общенациональный воспроизводственный процесс. В связи с этим актуальным становится вопрос об исследовании, во-первых, воспроизводственной функции ОПК в дополнении к оборонной, во-вторых, о способах их органического единства.

Воспроизводственная функция ОПК не может реализоваться при современном состоянии российской экономики. Дело в том, что сложившаяся экспортно-ориентированная модель хозяйствования не соответствует интересам развития сектора, производящего товары конечного потребления: основой российской экономики в настоящее время является обмен «нефти на продовольствие». Такого рода обмен не только свертывает отечественное производство жизненных средств, но и разрушает воспроизводственный процесс в целом. В результате страна утрачивает собственный источник экономического роста, и тем самым воспроизводственная функция ОПК лишается смысла.

Выход из создавшегося положения в российской экономике мы видим в возвращении государства в экономику. Монетаристский подход к регулированию экономики, базирующийся на максимальном отстранении государства от хозяйственной деятельности, несет в себе разрушительные тенденции. Но и переход к кейнсианской модели управления российской экономики не решает воспроизводственных задач. Правительству необходимо разработать и осуществить структурную экономическую политику по восстановлению национального хозяйства, в пределах которого возможно осуществить и воспроизводственную функцию ОПК. Более того, у российского правительства есть редкий шанс соединить решение проблем повышения обороноспособности страны с созданием воспроизводственных основ российской экономики.

Становление воспроизводственной функции ОПК как его качественно новой функции связано с развитием науки, с использованием его достижений в общественном производстве – центр тяжести переносится в непроизводственную сферу. Производство и использование информации все в большей степени определяют уровень развития производительных сил. В их размещении происходят качественные изменения. Если в доиндустриальную эпоху города возникали на пересечении торговых путей, в индустриальную – вблизи источников сырья и энергии, то на современном этапе технополисы возникают вокруг научных центров и крупных исследовательских лабораторий.

В результате анализа инновационного потенциала экономики Красноярского края и научно-производственной базы предприятий ОПК региона мы приходим к выводу о необходимости превращения города Красноярска в мегаполис с крупными научными центрами, исследовательскими лабораториями. Только в пределах мегаполиса может в полную меру реализоваться воспроизводственная функция предприятий ОПК Красноярского края.

V. I. Lyachin

DEFENSE INDUSTRY IN STRUCTURE OF PUBLIC REPRODUCTION

The author considers material and organizational conditions of realization of the reproduction functions by the defense industry in Russian economy.

Keywords: reproduction, place of the defense industry in reproduction structure, reproduction function of DIC, an innovative way of manufacture.

© Лячин В. И., 2011

УДК 330.(075.8)

В. И. Лячин, Н. Д. Корсукова, А. А. Кузнецов

РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОГО РОСТА РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Рассмотрены основные проблемы государственного регулирования воспроизводственных отношений экономики, обосновано положение о государственном регулировании равновесия в инновационной структуре экономики.

Ключевые слова: глобальная воспроизводственная пропорция, инновационный тип воспроизводства, управление инновациями.

Общее равновесие в рыночной экономике означает равновесие между отдельными группами агентов, такими как домохозяйства, предприниматели, финансовые институты, государство, заграница; согласованность процессов деятельности этих агентов по всем стадиям воспроизводства; соответствие движения натурально-вещественных показателей финансово-стоимостным.

Главная проблема экономической науки, начиная с классиков, заключается в проблеме сохранения целостности воспроизводства общественного капитала. Она рассматривается в классической теории как двуединый процесс, с одной стороны, накопление капитала, с другой – расход денежного капитала. Данные пары дополняют друг друга: потребление производительного капитала компенсируется накоплением денежного капитала, а затраты денежного капитала – воспроизводством производительного капитала. Само накопление, А. Смит и Д. Рикардо, исходя из различий между естественными и трудовыми ресурсами, определяют как физический рост продуктивности каждого фактора. Рост общественного богатства проявляется в увеличении объемов общественного производства путем вовлечения все новых и новых ресурсов. Равновесному состоянию экономики соответствует условие удовлетворения потребностей пропорционально физическому объему производимого продукта. Согласно закону Сэя, проблема реализации решается совпадением объемов спроса и предложения, возможно лишь частичное перепроизводство на локальных рынках.

В 30-х годах XIX в. формируется течение экономического маржинализма, базирующееся на субъективном анализе. Оно унаследовало от классиков веру в то, что экономическое благосостояние общества зависит не только от эффективного распределения ресурсов между различными отраслями, но и от законов накопления капитала и роста народонаселения. Критерием равновесия на рынке потребительских товаров служит максимальное удовлетворение потребностей, выраженных рыночным спросом, на базе данного количества предлагаемых товаров и услуг. Свободная конкуренция посредством согласования цен предопределяет равновесие в сфере обмена. Но каким образом разрозненные действия индивидуальных производителей, располагающих ограниченной информацией об экономической конъюктуре, приводят, в конечном счете, к установлению цен, уравнивающих спрос и предложение на каждый товар? Теория общественного равновесия положительного ответа на этот вопрос не дала.

В отличие от маржинализма, Кейнс определял цель производства как производство ради денег. Эффективный спрос достигается на пересечении функций совокупного спроса и совокупного предложения и является состоянием, предполагающим некоторую вынужденную безработицу. Макроэкономическое равновесие обусловлено равенством сбережений с запланированными инвестициями, или равенством спроса и предложения на рынке заемных средств, которое, в свою очередь, зависит от равновесного состояния рынка товаров и услуг и денежного рынка. Оно станет реальным, если распределение доходов будет соответствовать величине и пропорциям будущих сбережений. Личное потребление, по Кейнсу, есть функция текущего дохода, которое зависит от его изменений и поэтому изменяется вместе с изменением дохода. Поэтому потребительские доходы не могут считаться постоянной величиной. Сбережения также не являются постоянной величиной в силу зависимости его от потребления. Более того, значительная часть сбережений остается неиспользуемой, так что совокупные расходы нации оказываются меньше ее совокупных расходов. Это ведет к дефициту совокупного спроса на рынке, недогрузке мощностей, безработице, перепроизводству. Чтобы стабилизировать ситуацию на рынке, необходимы государственные меры по активизации эффективного спроса. Кейнсианство возникло в период Великой депрессии, когда возникли явления перепроизводства, и поэтому основную причину кризиса оно видело в недостаточности совокупного спроса. Поэтому кейнсианство всегда рассматривалось как теория спроса, не имеющая отношения к производству. И когда в 70-х гг. 20 в. стали разворачиваться в экономике структурные кризисы: сырьевой, энергетический, валютный и т. д., кейнсианцы не смогли предложить эффективные методы исправления ситуации и уступили пальму первенства монетаристской теории, уделившей, в отличие от кейнсианцев, основное внимание фактору денежной массы.

Монетаризм полагал, что существует внутренняя устойчивость рыночной экономики, поскольку склонность людей к потреблению остается величиной по-

стоянной, сбережения являются постоянной функцией от дохода в целом. Фирмы обладают способностью к саморегулированию. Спрос на деньги представляет функцию перманентного дохода. Колебания спроса на деньги зависят от динамики постоянного среднедушевого дохода. Деньгам отводится роль циклического фактора в долгосрочном периоде. Производство исследуется лишь со стороны денежного дохода. Спрос на деньги является функцией устойчивых экономических переменных. Предложение денег зависит от хозяйственной деятельности людей и, следовательно, находится под воздействием субъективного фактора. Были проведены тщательные исследования для измерения денежной массы и величины потребительских расходов. Была определена корреляция между автономными расходами и потребительскими расходами. Эта зависимость была выражена в виде математической формулы. На основе проведенных исследований было выяснено, что в нормальных периодах (не кризисных), коэффициенты корреляции, относящиеся к деньгам, оказались выше, чем коэффициенты для автономных расходов. Это послужило основанием для вывода о лидирующей роли денег в формировании хозяйственной конъюктуры. Отсюда предложения монетаристов о том, что контроль над денежным запасом гораздо более эффективный инструмент воздействия на уровень совокупного денежного спроса, чем контроль над автономными расходами. Выводы монетаристов вызвали резкую критику со стороны неокейнсианцев. В частности, Д. Тобин возражал против зависимости между движением денег и национальным доходам. Если признать, писал он, что колебания денег вызывают циклические колебания в экономике, то необходимо выяснить, по каким каналам передаются импульсы от денег к национальному доходу.

Фридмен предлагал придерживаться в экономической политике государства концепции денежного автоматизма. Это означало перекрытие каналов дополнительного выпуска денег, лишение субъектов рынка возможности расширять или сужать предложение денег в зависимости от фазы цикла. Но в целом, несмотря на определенные достижения, современная наука не смогла определиться с обоснованием основных причин, вызывающих циклический характер развития рыночной экономики.

Глобальный финансовый кризис вновь заставил обратить внимание исследователей на проблемы воспроизводства и прежде всего на марксисткую трактовку цикличности капиталистической экономики, которая наиболее последовательно определила базовые условия возникновения кризиса. Рассматривая процесс воспроизводства как процесс кругооборота, Маркс выделяет три функциональные формы капитала: денежный, производственный, товарный. Результат производительного общественного капитала по общественной форме выступает товарным капиталом. В стоимостной структуре совокупного общественного продукта К. Маркс отразил в абстрактном виде систему производственных отношений капиталистического товарного общества, а потому реализация совокупного общественного продукта в определенной пропорции всех его структурных частей есть одновременно воспроизводство собственности на средства производства и воспроизводство собственности на личный фактор производительного капитала. Таким образом, теория воспроизводства К. Маркса развивает теорию Ф. Кенэ в существенном пункте, а именно: по линии признания того, что воспроизводство есть одновременно производство и воспроизводство отношений собственности, т. е. самих производственных отношений в их исторически определенной форме.

К сожалению, данный аспект марксистской теории воспроизводства в отечественной экономической литературе в настоящее время специально не разрабатывается, а между тем его значение особенно актуально для научно обоснованного решения проблем российской трансформационной экономики и товарно-денежной сбалансированности. Это особенно важно осуществить потому, что содержание категории воспроизводства часто сводится преимущественно к условиям реализации совокупного общественного продукта при данных, уже готовых, производственных отношениях. В результате остаются в стороне закономерности процесса производства и воспроизводства существующих отношений собственности на материальные условия производства и прежде всего денежные ресурсы.

Исследуя капиталистическое производство, К. Маркс подчеркивал, что результатом его являются не только товары, содержащие прибавочную стоимость, но и само капиталистическое отношение – капиталист на одной стороне, наемный рабочий – на другой. При этом воспроизводство этого производственного отношения «фактически является еще более важным результатом процесса, чем его материальные результаты» [1].

В этой связи следует отметить, что в производственных отношениях нет «ни грамма вещества природы». Однако они и «не висят в воздухе», т. е. не существуют в чистом виде: субъекты общественного производства, его материальные условия и продукты являются их носителями. И если рассматривать производственные отношения как более важный результат производства, чем его материальные результаты, то это не означает, что производственные отношения воспроизводятся сами по себе в чистом виде, в качестве какого-либо самостоятельного продукта. И все же отличие производства самих производственных отношений от производства материально-вещественных результатов проявляется уже в том, что поскольку и на вещественных, и на личном факторах производства «лежит печать» производственных отношений, постольку производственные отношения в качестве конечного результата должны присутствовать. Производство материальных результатов производства и субъектов как носителей определенной экономической формы, хотя и носит скрытый характер, все же не представляют непреодолимых трудностей для уяснения этого факта. Процесс отделения произ-

водителя от средств производства в силу своей еще более тонкой связи с материально–вещественным содержанием процесса воспроизводства может вообще не восприниматься в качестве результата воспроизводства. Между тем данный ход рассуждений относительно необходимости показа производства и воспроизводства производственных отношений в качестве самостоятельной формы конечных результатов имеет глубокое теоретическое и практическое значение применительно к любому способу производства.

Так, в странах с развитой рыночной экономикой все еще актуальной является проблема отчуждения непосредственных производителей от материальных условий производства. В то же время в обществах со смешанной экономикой существует необходимость практической реализации принципа «равных возможностей» и принципа «социальной справедливости». Во всяком случае, во всех развитых странах в качестве первоочередных задач экономической и социальной политики выступает задача обеспечения социальной стабильности.

Закономерности воспроизводства совокупного общественного продукта в «Капитале» К. Маркса исследуются при целом ряде отвлечений. Во-первых, предполагается, что весь совокупный общественный продукт (СОП) производится как товарный капитал, хотя, в действительности кроме капиталистического производства всегда есть и мелкое товарное производство. Во-вторых, сумма всех рыночных цен (РЦ) в обществе уравнивается со стоимостями W реализуемых товаров: Σ РЦ = Σ W. В-третьих, не берется в расчет внешняя торговля, так как предполагается, что при нормальном ее ведении в каждом государстве экспорт одних товаров имеет тенденцию компенсироваться таким же импортом других товаров. В этом случае сальдо баланса внешней торговли (чистый экспорт) будет равно нулю, и оно не окажет никакого влияния на реализацию совокупного общественного продукта внутри страны. В-четвертых, принимается, что весь авансированный для производства СОП капитал потребляется целиком и совершает один круговорот в год. В-пятых, реализация СОП в действительности опосредуется денежным обращением, но для упрощения анализа К. Маркс отвлекается от него, так как предполагает, что денежное обращение совершается без каких-либо сбоев, не препятствуя в обществе обмену товаров [2].

Анализ данных предпосылок позволяет сделать вывод о том, что исследование условий и пропорций реализации совокупного общественного продукта при простом и расширенном воспроизводстве ведется К. Марксом при абстрагировании от проблем товарно-денежной сбалансированности. Для смешанной экономики характерно распадение СОП на мир товаров и мир денег, что обусловливает как товарно-денежную разбалансированность, так и, соответственно, товарно-денежную сбалансированность. Подчеркнем, что реализация СОП по стоимости и натуральной форме не совпадает с реализацией стоимости СОП в товарной и денежной формах, а следовательно, и выявленные К. Марксом стоимостные пропорции в качестве условий реализации совокупного общественного продукта при простом и расширенном воспроизводстве не совпадают с товарно-денежным пропорциями.

Товарно-денежная сбалансированность как категория смешанной экономики возникает в связи с появлением в ней двух четко очерченных форм распределения совокупного общественного продукта, а именно: распределения стоимости общественного продукта в ее денежной форме и распределения стоимости общественного продукта в ее товарной форме.

Появление в ходе длительного исторического развития двух форм распределения стоимости общественного продукта неизбежно вызывает рассогласование в движении денежных и товарных потоков, так как перемещение денежной формы стоимости общественного продукта необязательно должно сопровождаться синхронным движением совокупного общественного продукта в его товарной форме. Движение денежных средств на стадии стоимостного распределения ВВП происходит автономно, т. е. обособлено от движения товаров. И само это автономное, обособленное от движения товаров движение денежных средств, не сопровождающееся синхронным движением товарной массы, порождает «отрывы» движения денежных потоков от движения товарных потоков. Имеет место товарно-денежная разбалансированность. Товарно-денежная сбалансированность, наоборот, есть приведение в соответствие распределения стоимости совокупного общественного продукта в натуральной форме с распределением стоимости совокупного общественного продукта в денежной форме.

Необходимо различать воспроизводство в рамках отдельного предприятия и воспроизводство во всем обществе в целом. В последнем случае считается, что именно реализация совокупного общественного продукта является главной проблемой воспроизводства, поскольку возобновление производства в общественном масштабе предполагает беспрепятственную продажу на рынке произведенного в обществе совокупного общественного продукта. Однако последнее означает также то, что процесс производства в непрерывном потоке своего возобновления начинается с денег. Решающее значение в процессах воспроизводства в таком случае имеет не только реализация совокупного общественного продукта на рынке (как фаза, открывающая возобновление производства товаров), но и, что не менее важно, опосредование всего процесса.

Анализируя открытые К. Марксом общие закономерности реализации совокупного общественного продукта и условия возмещения всех составных частей этого продукта по стоимости, натуральной форме и в определенной пропорции, мы приходим к выводу о том, что в воспроизводственной теории К. Маркса не ставилась проблема опосредования процесса воспроизводства денежным обращением, включающим распределение денежных ресурсов между субъектами

рыночных отношений. В связи с этим для К. Маркса не существовало и проблемы товарно-денежной сбалансированности. И то, и другое, на наш взгляд, объясняется тем, что К. Маркс жил в эпоху господства «золотого стандарта (1870–1914)» и свободной конкуренции, и потому экономика не распадалась на реальный и номинальный секторы.

В ходе исследования проблемы воспроизводства отношений социальной рыночной экономики неизбежен вывод о том, что не только товарно-денежная сбалансированность как сущностная категория взаимодействия реального и номинального секторов смешанной экономики теряет свое значение вне теории воспроизводства, но и сама теория воспроизводства в своем новом продолжении должна получить дальнейшее развитие в результате ее интеграции в систему отношений реального и номинального секторов развитой рыночной экономики.

Известно также, что учение К. Маркса осталось незавершенным, так как он не успел разработать раздел о единстве производства капитала и его обращения. В первом томе «Капитала» К. Маркс абстрагируется от того, как происходит реализация товаров, и рассматривает процесс производства самого капитала, а во втором томе, наоборот, исследует только условия и закономерности реализации совокупного общественного продукта. С позиции диалектической логики дальнейшее исследование капиталистического производства предполагает заключительную фазу – исследование воспроизводства в качестве органического единства и производства капитала, и его обращения. Однако, как известно, автор «Капитала» не успел закончить свое произведение именно на этапе изучения воспроизводства в единстве его двух процессов. Кроме того, как уже отмечалось выше, К. Маркс не намечал исследовать проблему опосредования производства совокупного продукта и процесса его реализации денежным обращением, что не позволило К. Марксу довести теоретический анализ воспроизводства до анализа конкретных ситуаций в реальной действительности. На это обратили внимание противники марксистского учения, обвиняя его в абстрактности и пустоте основных положений теории воспроизводства. Придерживаясь истины, следует отметить, что Маркс сам дал повод к подобным дискуссиям. Например, возникла так называемая проблема трансформации, так западные экономисты обозначили процесс превращения стоимости в цену производства. Издержки производства определяются Марксом как часть стоимости товара, возмещающая цену потребленных средств производства и цену примененной рабочей силы, между тем как постоянный капитал приобретается по своей стоимости, а сумма прибавочной стоимости равна сумме прибылей. В целом сумма стоимостей равна сумме цен производства. Это позднее было названо двумя постулатами инвариантности. Но что происходит, когда постоянный капитал тоже приобретается по цене производства, которая, как известно, способна отклоняться от стоимости в ту или иную сторону. Этот фактор не был исследован Марксом, что затем и стало основой многочисленных спекуляций. Кроме того, ошибочным было мнение Маркса о том, что единственным источником новой стоимости является труд. Вопреки Марксу, труд имеет свою стоимость наряду с другими факторами производства, и потому труд не единственный источник создания прибавочной стоимости, она формируется за счет комбинирования всех факторов производства.

Дальнейшее развитие теория воспроизводства получила, на наш взгляд, в работах В. А. Медведева. Последняя из них – «Воспроизводство и приоритеты развития» [3]. В этой работе В. А. Медведев, анализируя процесс реализации валового внутреннего продукта, связывает процесс его воспроизводства с процессом формирования системы пропорций народного хозяйства, выделяя в этой системе глобальный процесс, вытекающий из соотношения двух секторов реальной экономики – производство предметов потребления и производство средств труда. Делая вывод о приоритетном значении производства жизненных средств в обеспечении экономического роста, В. А. Медведев обосновывает положение о том, что пропорциональное воспроизводство, взаимодействие и взаимообусловленность общественного производства для потребления и производства для накопления обеспечивается распределением денежных ресурсов общества по многочисленным каналам, и что именно распределение денежных ресурсов общества в соответствии с предназначением в процессе воспроизводства является, с одной стороны, предпосылкой формирования материальных и трудовых пропорций воспроизводства, а с другой – условием обеспечения и поддержания товарно – денежной сбалансированности в экономике. В. А. Медведев, развивая теорию воспроизводства К. Маркса, выдвигает задачу исследования закономерностей опосредования воспроизводственных процессов денежным обращением.

В рассматриваемой здесь работе В. А. Медведева отчетливо формулируется исходный узел проблем и противоречий общественного воспроизводства, исследование которых позволит обеспечить дальнейшее развитие теории воспроизводства. Суть проблемы воспроизводства, особенно расширенного, заключается не только в проблеме реализации совокупного общественного продукта по стоимости и натуральной форме, а в познании механизма опосредования денежным обращением всех воспроизводственных процессов. В связи с этим в заслугу В. А. Медведева следует отнести не только обоснование определяющей роли производства жизненных средств в воспроизводственных процессах и в обеспечении экономического роста и благосостояния всех членов общества, но и четко сформулированное методологическое положение, согласно которому новый этап в разработке теории воспроизводства предполагает выделение движения материальных ресурсов как самостоятельного потока, отличного от движения денежных масс, и наоборот.

Подобного рода разграничение двух разных, но взаимосвязанных потоков высвечивает проблему товарно-денежной сбалансированности или несбаланси-

рованности в связи с системой общественного воспроизводства.

В. А. Медведев, определяя исходный пункт разработки нового направления теории воспроизводства, выделяет главную балансовую связь в общественном производстве товаров и услуг. Он расчленяет народное хозяйство на две сферы, а именно сферу А – производство жизненных средств и сферу Б – производство средств труда (сфера накопления), и устанавливает характер взаимодействия этих сфер. Суть взаимодействия сводится к тому, что сфера Б не самофинансируется, а, напротив, авансируется сферой А за счет механизма перераспределения валового внутреннего продукта и национального дохода, созданного работниками сферы А (производство предметов потребления), в сферу Б (производство средств труда или накопление). С материальной точки зрения речь идет о высвобождении в сфере А труда, жизненных средств и средств труда и перекачки их в сферу Б, а с денежной – об образовании денежного фонда накопления, направляемого в сферу Б и обеспечивающего перекачку высвободившихся в сфере А ресурсов в сферу накопления.

Выявленное В. А. Медведевым глобальное соотношение между сферами А и Б позволило ему сформулировать проблему товарно-денежной сбалансированности как проблему взаимодействия двух результатов годового общественного производства: с одной стороны, это совокупность жизненных средств и средств труда, а с другой – это денежный фонд накопления.

До В. А. Медведева в теории воспроизводства в числе конечных результатов понятия «денежный фонд» не было. Его введение в концепцию воспроизводства и обусловливает постановку проблемы товарно-денежной сбалансированности. В. А. Медведев исходит из того, что два результата годового общественного производства противоречат друг другу и находятся в определенном количественном соотношении, причем конечный продукт приводится в движение с помощью встречного движения денежного фонда. Такое движение двух видов конечного результата годового общественного воспроизводства может осуществляться без перебоев – только при условии товарно-денежной сбалансированности. Последнее, в свою очередь, предполагает распределение денежного фонда общества между фирмами, населением, различными учреждениями в определенной пропорциональности, предписанной условиями воспроизводства.

В исследовании развиваются два основных теоретических положения, сформулированных в воспроизводственной концепции В. А. Медведева. Первое – положение об основной балансовой пропорции общественного воспроизводства, второе – о механизме опосредования денежным обращением всех воспроизводственных процессов.

Главная идея В. А. Медведева, касающаяся реального сектора экономики – вычленение двух сопряженных видов общественного производства, а именно: производства средств производства и производства предметов потребления, между которыми складывается глобальная пропорция. Пропорциональность общественного воспроизводства обеспечивается производством, распределением и перераспределением денежного фонда общества (национального дохода страны). Эта глобальная пропорция характеризует общую направленность развития общественного производства, степень его социальной подчиненности и подверженность научно – техническому прогрессу, а последняя формируется распределением денежного ресурса. Переход на инновационный путь связан с масштабными инвестициями в человеческий капитал, долю которых определяет общественная потребность. Качественная характеристика сферы конечного потребления в современной экономике отличается возрастанием роли и значения личного потребления в воспроизводстве рыночных отношений. Доходы всех работающих в виде заработной платы, капиталов в форме дивидендов, процентов и других факторных доходов на потребление расходуются не полностью и частично идут на сбережение, которое через механизм кредита превращается в инвестиционные ресурсы. Другим механизмом перераспределения служит налоговая система, когда инвестиции идут через государственный бюджет. Поэтому в процессе воспроизводства социальной рыночной экономики определяющее значение имеет механизм роста доходов, позволяющий создавать денежный фонд. Отсюда следует, что объективной основой и сущностью социальной рыночной экономики является не механизм распределения ресурсов, как об этом говорили классики и маржиналисты, а высокий уровень производства жизненных средств, обеспечиваемый использованием в процессе их создания последних достижений науки и техники. Высочайший уровень производства жизненных благ – это основная черта социальной рыночной экономики. Перераспределительный механизм – важный элемент социальной экономики, но производный от ее существенной черты. Распределять и перераспределять можно только то, что создано и приняло внешнюю форму фонда. В новейшей экономике изменяется и суть процесса накопления. Оно в долгосрочном плане уже не сводится к использованию ресурсов, составляющих фонд накопления на создание дополнительных капитальных средств. Речь идет о развитии сервисных отраслей экономики, ориентированных непосредственно на создание условий для развития новой производительной силы общества – человеческого капитала. Инновационный тип воспроизводства предполагает высокий уровень заработной платы и качество жизни, поскольку на первый план выходят новые факторы производства – информация и знания, носителем которых является человек. Превращение работника в человеческий капитал разрешает противоречие между высоким техническим и технологическим уровнем производства и недостаточным уровнем совокупной рабочей силы. Труд должен быть не просто высококвалифицированным, но обладать творческим потенциалом. Характер деятельности изменяет и смысл производственных отношений.

Владелец капитала покупает не рабочую силу, а приобретает услуги труда. Оплата за эти услуги не может быть сведена к возмещению издержек воспроизводства рабочей силы, она должна быть за границами этой величины и определяться результатами творческой деятельности, в частности, содержать динамическую ренту от реализации инновационных продуктов, разработанных данным индивидом.

В этих условиях относительно устойчивое состояние равновесия воспроизводства предполагает согласованное распределение национального дохода общества в соответствии с потребностями формирования материальных и трудовых пропорций общественного воспроизводства. В тоже время, относительно самостоятельное и независимое движение материально – вещественных (товарных) потоков и денежных масс с неизбежностью приводит к разбалансированности экономики, к нарушению механизмов опосредования обращением денег воспроизводственным процессом. Разбалансированность товарно-денежных потоков наиболее зримо обнаруживается в инфляции, которая и для отечественной экономики продолжает оставаться мало регулируемой. Инфляция, как известно, порождается многими причинами, но самые глубокие коренятся в системе общественного воспроизводства. Между тем нередко в практике регулирования инфляции, как у нас в стране, так и в странах развитого товарного производства, правительства руководствуются монетарной, а не воспроизводственной концепцией в понимании причин товарно-денежной разбалансированности экономики и разработке инструментов управления инфляцией. Особенно четко это проявляется в связи с влиянием кредитной эмиссии денег на ход общественного воспроизводства, его структуру, глобальную пропорцию независимо от спроса и предложения, т. е. независимо от сферы обращения и меновых пропорций денежной массы.

Кредит – это особый уровень отношений в виде системы взаимной отсрочки платежей, опосредованных вексельным обращением. При умелом использовании кредита как финансового инструмента поддерживается непрерывность и бесперебойность воспроизводственного кругооборота, устанавливается органическая связь реального и номинального секторов экономики.

Библиографические ссылки

1. Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 46. Ч. I. С. 447.
2. Андреев Б. Ф. Системный мир глобальной экономики: филогенез и онтогенез : науч. трактат. М. : [Б. м.], 2007. С. 333.
3. Медведев В. А. Воспроизводство и приоритеты развития. М. : Экономика, 2004.

V. I. Lyachin, N. D. Korsukova, A. A. Kuznetsov

BALANCED STATE OF PUBLIC REPRODUCTION IN THE CONDITIONS OF INNOVATIVE GROWTH OF RUSSIAN ECONOMY

In the article the basic problems of state regulation of reproduction relations of economy are considered, Statue Concerning state regulation of balance in innovative structure of economy is proved.

Keywords: global reproductive ratio, an innovative type of reproduction, management of innovations.

© Лячин В. И., Корсукова Н. Д., Кузнецов А. А., 2011

УДК 332.1.001.76

О. Е. Подвербных

РОЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В РАЗВИТИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Рассматриваются типы инновационных организаций и их влияние на развитие экономики региона.

Ключевые слова: инновационные организации, региональная экономика, инновационная среда.

Формирование инновационного общества – основная цель государственной политики в сфере экономики. Достижение этой цели является необходимой предпосылкой модернизации экономики страны и, в конечном счете, обеспечения конкурентоспособности отечественного производства.

Конкурентоспособность отдельно взятого региона определяется темпами внедрения новейших научно-технических решений, развития наукоемких производств.

Широкое использование инноваций в хозяйственной деятельности становится одним из основных источников повышения конкурентоспособности и, как следствие, устойчивого развития экономики региона.

На протяжении последних лет в Международной высшей школе бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета (МВШБ СибГАУ) ведутся исследования по формированию концепции развития инновационных организаций в России и, в частности, в Красноярском крае.

Исследование базируется на классификации инновационных организаций, сформированной по принципу отношения организации к инновационному циклу, согласно которому выделено 5 типов инновационных организаций.

Тип 1. Организация-создатель нововведений. Это могут быть как малые инновационные фирмы, так и специализированные крупные научно-исследовательские институты и опытно-конструкторские бюро. Основная задача управления на предприятиях такого типа – развитие творческой активности и продуктивности разработчиков новшества, создание системы мотивации для повышения эффективности работы персонала. В коллективе необходимо создавать условия и структуры, поддерживающие и поощряющие новации, управляющие и ориентированные на развитие инновационного потенциала разрабатывающих подразделений.

Тип 2. Организация-пользователь нововведений. Такой тип является наиболее распространенным, так как практически каждая фирма приобретает новое оборудование, технологию, документацию для выпуска новой продукции и становится пользователем тех или иных новшеств.

На конечный результат использования новшества влияют как возможности предприятия (технический, организационно-экономический, кадровый потенциалы), так и характеристики самого новшества (уровень прогрессивности, сложность и т. д.).

Тип 3. Организация-разработчик и пользователь нововведений. Здесь разрабатываются новшества и используются для собственных специфических потребностей предприятия. Если нововведение обладает рыночной ценностью, оно распространяется и на рынок (внутренний или внешний).

Тип 4. Организация-носитель нововведения. Это прежде всего относится к организационным нововведениям. Особенность данного типа взаимоотношений между предприятием и нововведением состоит в том, что часто организационные формы, выступающие носителями нововведения, сами являются новыми. Примером могут служить рисковые (венчурные) предприятия. Здесь к проблемам потенциального пользователя нововведения добавляются проблемы, связанные с новыми организационно-правовыми формами. Главным результатом следует считать эффективность организации в новом качестве. Внутри предприятия менеджеры должны создавать атмосферу предприимчивости и ощущение уникальности новой организационной формы. Практически каждое предприятие периодически (раз в 5–7 лет) в рамках своего развития становится носителем нововведения.

Тип 5. Организация-нововведение. Это происходит, когда для решения конкретной проблемы (социальной, научно-технической, финансовой) создаются организации нового типа, принципиально отличающиеся от существующих. Данный тип организации отличается от предыдущего тем, что организация, выступающая как носитель нововведения, необязательно сама должна быть новой.

В ходе исследования было выявлено, что для эффективного и устойчивого функционирования инновационной среды необходимо поддерживать структурный баланс первых трех типов организаций: организация-создатель нововведений, организация-пользователь нововведений, организация-разработчик и пользователь нововведений. Оценка принадлежности организации к указанным группам осуществлялась по экспертному критерию Кз (коэффициент заимствования) путем сопоставления расходов организации на НИОКР в долях от совокупных расходов с объемом платежей за покупку технологий, также измеренных как доля совокупных расходов организации. При этом критериальную базу анализа было принято значение Кз $\leq$ 0,7 – для организаций-пользователей инноваций, значений Кз = 0,71÷1,4 – для организаций-разработчиков и пользователей нововведений, Кз $\geq$ 1,4 позволяет отнести организацию в группу создателей нововведений.

В результате исследования, проведенного на 28 предприятиях реального сектора экономики Красноярского края, было выявлено (рис. 1), что на конец исследуемого периода наибольшую долю занимают предприятия, ориентированные на использование инноваций.

Второй по величине является группа предприятий – разработчиков и пользователей нововведений. В этой группе находятся крупные промышленные предприятия, масштабы и профиль деятельности, а также уровень развития бизнес-процессов которых, с одной стороны, позволяет им привлекать значительные внешние инновационные ресурсы. С другой стороны, на таких предприятиях уже накоплен мощный кадровый, производственно-технологический и управленческий потенциал, формирующий как спрос, так и эффективную диффузию инноваций.

Третьей по величине является доля предприятий, представители которых не относят себя ни к одной из перечисленных групп, отмечая, однако, что исходя из целей выживания, предприятия используют инновации, но весьма ограниченно и с крайне малым инновационным заделом, т. е. условно их можно отнести к типу 4. Наименьшее значение принадлежит предприятиям–создателям инноваций. В то же время на таких предприятиях открытым остается вопрос о качестве собственных инноваций и степени их новизны.

По данным Draft Ministerial Report on the OECD Innovation Strategy: Innovation to Strengthen Growth and Address Global and Social Challenges. Key Findings. (Paris: OECD, 2010, February 26, p. 21) относит к странам, активно заимствующим технологические инновации: Ирландию, Нидерланды, Бельгию. На противоположном полюсе – Япония, Корея, США, Германия. Баланс между инновациями и имитациями характерен для таких стран, как Норвегия, Великобритания, Швеция. Россия, если судить по официальным стати-

стическим показателям, также входит в последнюю группу согласно данным статистического сборника «Наука России в цифрах – 2009». Платежи России по импорту технологий составили 93 731 млн руб., а затраты организаций предпринимательского сектора на НИОКР – 90 094,3 млн руб.

Таким образом, в целом по стране существует определенное равновесие между объемами закупаемых технологий и расходами частного сектора на НИОКР, что также свидетельствует о преобладании организаций – пользователей и разработчиков инноваций.

В целом же в отчете Национальной ассоциации инноваций и развития информационных технологий (НАИРИТ) указывается, что доля промышленных предприятий, внедряющих инновации в свое производство, сократилась на 0,1 %, несмотря на рост количества проектов в этой области. «Если в конце 2009 г. этот показатель составлял 9,2 %, то в 2010 г. он находится на уровне 9,1 %» – говорится в отчете НАИРИТ. Соответственно, сократилось и число предприятий, финансирующих НИОКР – с 54,8 % в 2005 г. до 36 % в 2009 г.

При сравнении уровня национальной инновационной активности между странами (рис. 2) видим, Россия занимает последнее место в ряду исследуемых стран.

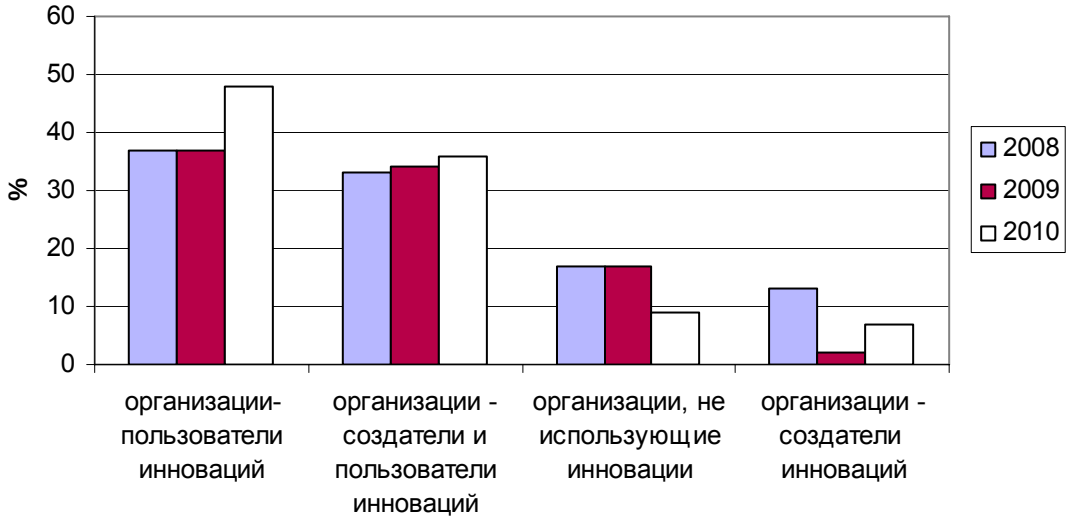


Рис. 1. Динамика соотношения типов инновационных организаций на региональном уровне

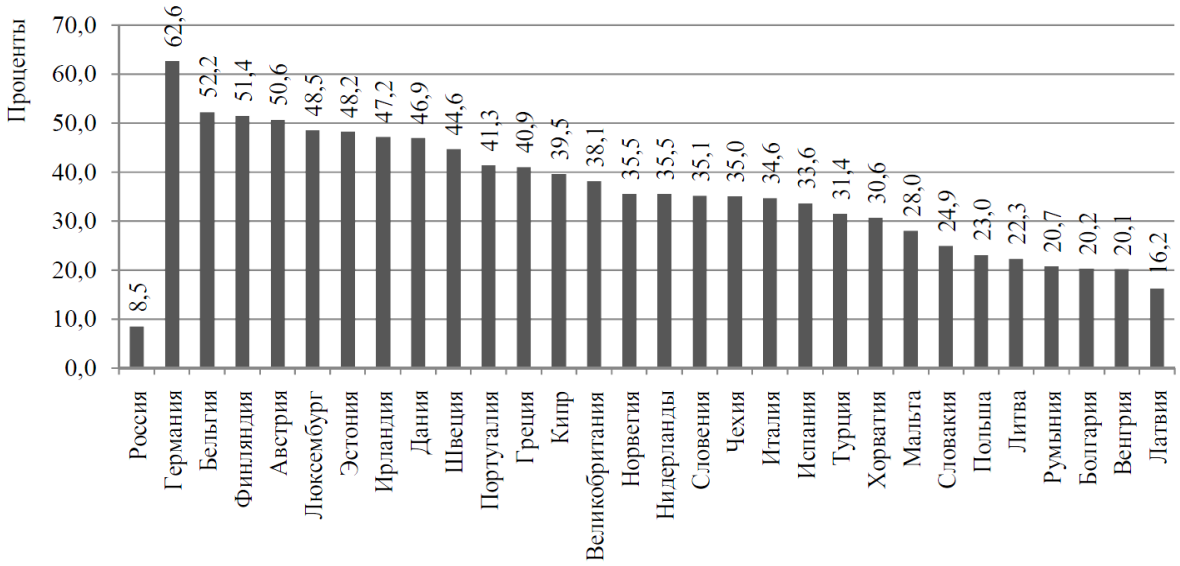


Рис. 2. Удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации, в общем числе организаций

В рамках проводимого исследования был выделен ряд внешних и внутренних условий, влияющих на поддержание устойчивого баланса активной инновационной деятельности указанных типов организаций. К внешним условиям можно отнести следующие:

1) нормативно-правовую базу международного и государственного уровней, регулирующую отношения в процессе реализации инновационного цикла;

2) положение и государственную политику в научной и инновационной сферах;

3) демографическую ситуацию в стране и регионе;

4) состояние сферы образования;

5) государственную кадровую и инвестиционную политику;

6) социокультурную среду, определяющую восприятие инноваций.

В число внутренних факторов входят:

1) стратегия формирования кадрового потенциала организации;

2) производственно-технологический потенциал;

3) качество управления;

4) уровень развития бизнес-процессов;

5) стадия жизненного цикла организации;

6) тип, уровень, сформированность и качество управления организационной культурой.

По первым двум внешним факторам представляется, что поступательное социально-экономическое развитие государства и обеспечение его конкурентоспособности на внешнем рынке (преодоление технологического отставания) обеспечивается, прежде всего, наличием развитой среды «генерации знаний», основанной на значительном секторе фундаментальных исследований в сочетании с эффективной системой образования, развитой национальной инновационной системой, целостной государственной политикой и нормативным правовым обеспечением в сфере инновационной деятельности.

На сегодняшний день можно выделить два подхода к концепции государственной поддержки инноваций. При первом подходе на государственную политику ложится обязанность определять инновационные направления развития науки и техники, а также способы финансового побуждения ученых следовать им. Национальные научные сообщества должны признавать государственные интересы и следовать им в своей деятельности. Плановые задания, жестко ориентированные на обслуживание определенного круга государственных потребностей, сверху (top-down) доводятся до научного сообщества. При этом государство ставит четкую цель и финансирует предложения (проекты) научно-технического сообщества, решающие эти цели.

Второй подход – снизу вверх (bottom up), который, как правило, дополняет первый, состоит в том, что государство финансирует широкий поиск нового знания, не оговаривая заранее, каким практическим целям он должен служить. Причина, почему даже при жестком прагматическом подходе все государства определенную долю финансирования расходуют по этой схеме, проста. Большинство величайших технических открытий родились именно на основе такого свободного поиска. Идущий снизу (bottom up) информационный поток нового знания, перспективных, порой революционных открытий, служит питательной средой для рождения новых технологий. Иллюстрацией реализации такого подхода служит пример Кремниевой долины (Калифорния, США), успешное функционирование которой в качестве инновационной зоны на 50 % финансируется за счет государства.

В переходный период развития российской экономики (начиная с 1991 г.) в рамках целого ряда правительственных решений и программ предпринимались неоднократные попытки сформировать целостную государственную политику по поддержке и развитию российской науки, заключающуюся в глобализации институциональной среды и организационно-правовых формах осуществления предпринимательской деятельности.

Анализ влияния демографического фактора, состояния сферы образования и государственной кадровой политики свидетельствует в целом о нестабильной ситуации, связанной с большим оттоком на работу за рубеж наиболее талантливых молодых ученых, научных специалистов и разработчиков. Только в 2009 г. в рамках профессиональной эмиграции в США уехало 56 тыс. человек, в Израиль – около 13 тыс. человек, в Австралию – 12 тыс. человек, в Германию – 9 тыс. человек и в Канаду – 8 тыс. человек. Всего же, по данным Фонда ООН в области народонаселения (ЮНПФА), с 1992 г. из России эмигрировало более 3 млн специалистов.

Несмотря на практически паритетное стартовое соотношение доли молодых исследователей в России и США, в дальнейшем соотношение складывается не в пользу России (рис. 3). Сегодня средний возраст сотрудников российских научно-исследовательских институтов приближается к 50 годам, а средний возраст кандидата наук составляет около 53 лет. Подобная возрастная структура исследователей не позволяет им быть в полной мере участвовать в реализации инновационного цикла, средняя продолжительность которого составляет 10–12 лет.

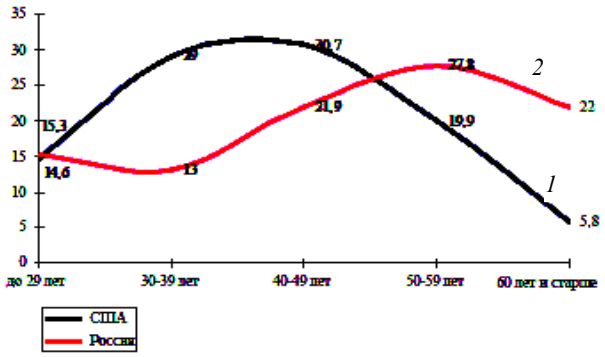


Рис. 3. Сравнение возрастной структуры исследователей в США (*1*) и России (*2*)

По данным экспертов НАИРИТ, количество новых проектов, представленных российскими инноваторами за последнее полугодие 2010 г., увеличилось в среднем на 32 %, что выше показателя 2009 г. на 15 пунктов. Такой рост можно объяснить достаточно высокой активностью государства в реализации

мероприятий по формированию отечественной инновационной инфраструктуры.

Кроме того, отмечается, что количество молодежных проектов в сфере инноваций за первое полугодие выросло на 37 %. Но вместе с тем, согласно социологическому опросу, проведенному НАИРИТ в июне 2010 г., интерес молодежи к инновационному предпринимательству снизился примерно на 9 пунктов.

Дополнительным подтверждением ценности человеческих ресурсов и актуальности инвестирования развития кадрового потенциала организаций как основного внутреннего фактора формирования инновационной среды служит зависимость между численностью персонала и уровнем инновационной активности организаций (рис. 4).

Наиболее существенный рост инновационной активности отмечен для предприятий с численностью персонала от 500 до 5000 человек, при этом данные предприятия составляют около 30 % от общего числа организаций.

Следует отметить, что данная тенденция противоречит общемировым трендам, согласно которым инновационная активность во многом характерна и для предприятий малого бизнеса. Для российской действительности очевидно, что крупные организации и их объединения имеют больше возможностей и ресурсов для осуществления инновационной деятельности.

В ходе исследования было выявлено, что готовность к восприятию инноваций крайне низка: в России 90 % руководителей крупных компаний отрицательно относятся к введению инноваций на своих предприятиях. Они готовы работать с проектом, который можно внедрить прямо сегодня, но нести затраты на научные разработки не хотят.

При анализе объемов инвестиционной поддержки инноваций (рис. 5), наиболее неудовлетворенная потребность в инвестировании прогнозируется по направлениям «Электроника и приборостроение», «Энергосберегающие технологии», «Индустрия наносистем и материалов».

В результате исследования была сформирована матрица использования релевантных стратегических преимуществ для минимизации проблемных зон развития инновационных организаций (см. таблицу).

Таким образом, проводимые исследования по проблемам развития современных инновационных организаций способствуют формированию стратегии их развития в условиях модернизации производства, что служит основой для развития национальной инновационной системы как в регионе, так и государстве в целом.

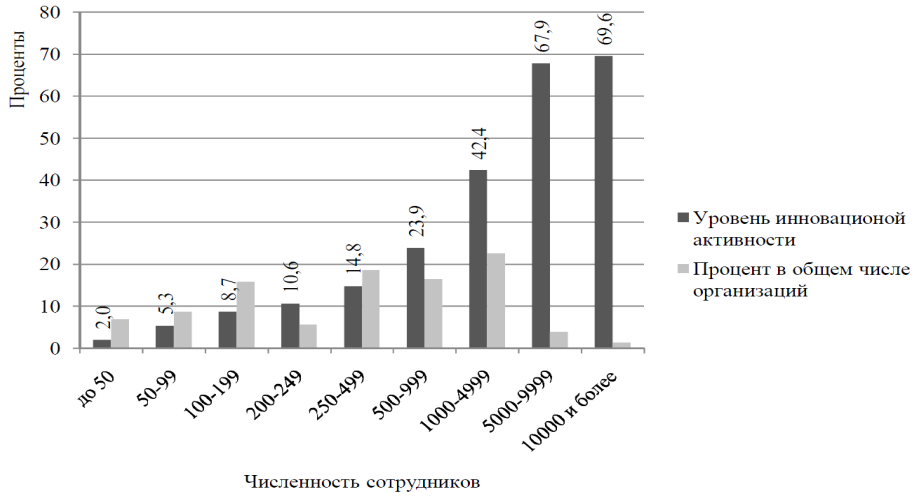
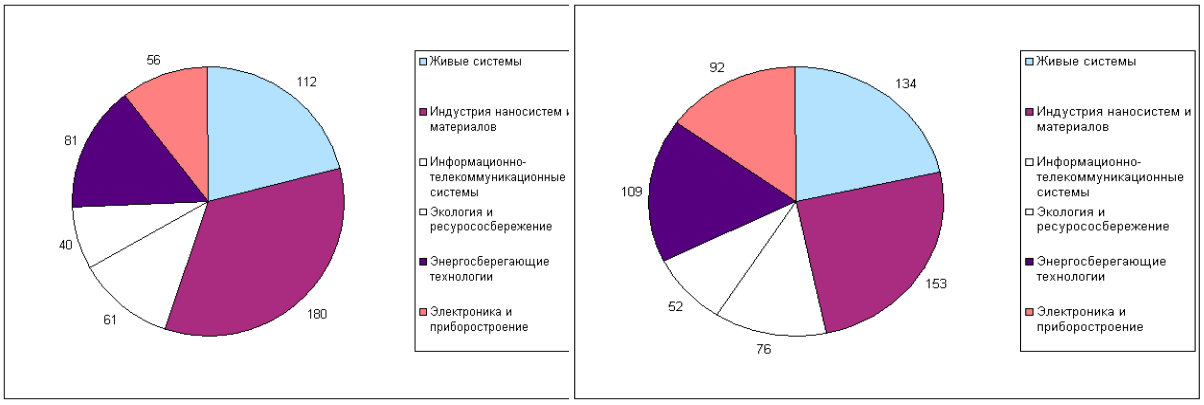


Рис. 4. Численность сотрудников и инновационная активность организаций



а *б*

Рис. 5. Объем инвестиций, необходимых для эффективного развития высокотехнологичных направлений (млрд руб.): *а* – по оценке государственных фондов поддержки; *б* – по оценке инновационного сообщества

Стратегические преимущества и проблемы развития современных инновационных организаций

Стратегические преимущества	Проблемы развития
Наличие значительного сектора фундаментальной науки: – научные организации Российской академии наук и других академий наук, имеющих государственный статус; – ведущие вузы. Прикладные исследования и технологические разработки внедрение научно-технических результатов в производство: – система государственных научных центров Российской Федерации; – отраслевые научные организации; – корпоративная наука; – наличие конкурентных преимуществ России в ряде важнейших технологических направлений (в авиационно-космической и атомной промышленности). Эффективная система образования, практика подготовки и аттестации кадров высшей квалификации. Наличие отдельных базовых элементов инновационной структуры: – инновационно-технологических центров; – центров трансфера технологий, технопарков (в т. ч. при ведущих вузах); – фондов, специализирующихся на поддержке инновационного предпринимательства, включая государственные и частные венчурные и др.	Наличие низкого спроса со стороны реального сектора экономики на перспективные – с точки зрения их коммерческого применения – результаты научно-технической деятельности. Основными экономическими факторами, сдерживающими инновационную активность предприятий, являются: – недостаток собственных средств для расширения данного вида деятельности; – высокая стоимость нововведений, экономические риски и длительные сроки окупаемости. Отсутствие развитой нормативной правовой базы для осуществления инновационной деятельности, а также мер ее государственной поддержки, включая прямые (бюджетное финансирование) и косвенные (налоговые преференции, государственные гарантии и механизмы). Отсутствие действенных механизмов реализации определенных государством приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации. Общая «размытость» перечня критических технологий федерального значения. Множественность научных организаций, претендующих на соответствующую государственную поддержку. Отсутствие общей координации финансируемых отдельными федеральными органами исполнительной власти НИОКР, что препятствует как консолидации финансовых, кадровых и организационных ресурсов государства для реализации крупных научно-производственных проектов, так и инвентаризации и введению в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности, полученных за счет средств федерального бюджета в смежных отраслях реального сектора экономики. Ослабление кооперационных связей между научными организациями, учреждениями образования и производственными предприятиями, в т. ч. на уровнях системы воспроизводства научных кадров, организационного обеспечения цепи «прикладные исследования – опытно-конструкторские разработки – производство», подготовки кадров под конкретные направления инновационной деятельности. Низкая информационная прозрачность инновационной сферы: недостаток информации о новых технологиях и возможных рынках сбыта принципиально нового (инновационного) продукта, а также – для частных инвесторов и кредитных организаций – информации об объектах вложения капитала с потенциально высокой доходностью. Низкий уровень развития малого инновационного предпринимательства (в т. ч. без образования юридического лица)

O. E. Podverbnykh

THE ROLE OF INNOVATIVE ORGANISATIONS IN DEVELOPMENT OF THE REGIONAL ECONOMY

This article considers the types of institutional organizations and their influence on the regional economy.

Keywords: innovative organizations, regional economy, innovative environment.

© Подвербных О. Е., 2011

УДК 519.6

Е. С. Семенкин, А. А. Шабалов, В. М. Клешков

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИЯМИ РЕСТРУКТУРИРОВАННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Рассматриваются математические модели и оптимизационные алгоритмы для задач поддержки принятия решений при управлении инновационной деятельностью реструктурируемого предприятия машиностроительного комплекса. Проводится сравнительный анализ эффективности настроек оптимизационных алгоритмов. Описывается программная система.

Ключевые слова: управление инновациями, математическое моделирование, оптимизация, система поддержки принятия решений.

В условиях радикальных изменений, происходящих в экономике России, снижения роли государства на экономической арене предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК) сталкиваются с проблемой, которая никогда раньше не возникала с такой остротой – проблемой поиска ресурсов для обеспечения военной промышленности. Выживают не столько предприятия, производящие высокотехнологичную продукцию, сколько умеющие адаптироваться к изменившимся условиям. Фактически ОПК, несмотря на «привилегированное» положение, проявляющееся в стабильных государственных закупках, постепенно начинает все больше и больше походить на обыкновенное производство потребительских товаров [1].

Возможным выходом из создавшейся ситуации является диверсификация производства военного сектора, которую можно представить себе как развитие технологий, позволяющих выпускать продукцию не только военного, но и гражданского назначения. Причем речь идет не только и не столько о продукции двойного назначения, а главным образом, о гражданской продукции, которую предприятия ОПК могут выпускать, применяя уже накопленный потенциал. Особенно следует выделить использование научно-технического потенциала достижений НИОКР военного характера в сфере принципиально новых видов продукции, не имеющих аналогов и формирующих новый рынок сбыта.

Однако необходимо иметь в виду, что оптимальные пропорции между производством военной и гражданской продукции еще нужно определить. С одной стороны, слишком широкая диверсификация может повлечь за собой утрату конкурентных позиций на рынках военной продукции, с другой – ориентация на преимущественное производство военной продукции может повлечь утрату позиций в производстве конкурентоспособной гражданской продукции. Оптимальная интеграция гражданского и военного производства может значительно уменьшить издержки по производству новых видов вооружений, основанных на новейших технологиях, отработанных на гражданской продукции.

Таким образом, важнейшей задачей предприятий ОПК в современных условиях является преобразование их систем управления с целью обеспечения координации усилий всех подразделений и служб для производства конкурентоспособной продукции как военного, так и гражданского назначения. В этой связи оптимальное распределение наиболее важных общих ресурсов реструктурированного предприятия ОПК между новыми коммерчески привлекательными производствами военной и гражданской продукции является актуальной научно-технической задачей.

Для реализации поставленных задач в изменяющихся условиях функционирования предприятия в целом и его подразделений целесообразно совершенствовать организационную структуру предприятия: создавать центр активного развития, переводить ряд подразделений на режим развитого хозрасчета – создавать центры финансовой ответственности (ЦФО), осуществлять работу по реинжинирингу бизнес-процессов, созданию автоматизированной системы поддержки принятия управленческих и плановых решений, поставить «на поток» процесс формирования и реализации инновационных проектов с созданием соответствующей инфраструктуры [1].

Инновационная деятельность существующих и создаваемых центров финансовой ответственности определяет темпы реструктуризации предприятия и ее эффективность. ЦФО являются частью предприятия, работающего в рыночных условиях на рынках гражданской продукции. Их независимость от госзаказа и связанных с его выполнением проблем позволяет значительно ускорить их развитие.

Одновременно с этим ЦФО обладают значительным конкурентным преимуществом перед обычными коммерческими организациями: закрытая территория, уникальная специализация и самодостаточность инфраструктуры, высококвалифицированный персонал, общие с предприятием материальные ресурсы, уникальные экологические ресурсы (вода, воздух), наличие передового оборудования и технологий. Для обеспечения конкурентного преимущества ЦФО необходимо оптимально распределять финансовые и материальные ресурсы предприятия. Это, в свою очередь, требует разработки и внедрения эффективных моделей и методов поддержки принятия плановых решений при управлении инновационной деятельностью.

*Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (НИР 2.1.1/2710).

Полученные ранее результаты разработки математического, алгоритмического и программного обеспечения поддержки принятия плановых решений по распределению общих ресурсов при управлении инновациями на децентрализованных предприятиях ОПК в условиях адаптации к рыночным условиям позволяют осуществлять эффективное распределение общих ресурсов между подразделениями, что позволяет повышать гибкость и адаптивность при переходе к рыночным условиям хозяйствования.

Рассмотрим сначала модели рационального использования центрами финансовой ответственности общих дефицитных ресурсов, которыми в различных ситуациях могут быть электроэнергия, теплоснабжение, вода, трудовые ресурсы и т.п. Запасы таких ресурсов, которые могут быть использованы при планировании инновационной деятельности, определяются центром [2].

Объем p_{ij} инновационной продукции j-го вида, выпускаемого i-м ЦФО зависит от затрат v_{ij} дефицитных ресурсов:

$$p_{ij} = f_{ij}(v_{ij}),\ v_{ij} = (v_{ij1}, v_{ij2}, \ldots, v_{ijK}).$$

Затраты остальных (недефицитных) видов ресурсов полностью определяются технологией и фиксированы. Функции f_{ij}, естественно, считать монотонно возрастающими.

Кроме того будем считать, что эффективность затрат дефицитного ресурса падает с ростом его количества, т. е. функции f_{ij} строго вогнуты. Центр имеет возможность распределять некоторый объем V_k k-го ресурса – выбирать величины v_{ijk}, удовлетворяющие ограничению

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} v_{ijk} \le V_k,\ k = 1, 2, \ldots, K,$$

максимизируя при этом прибыль от реализации выпускаемой продукции:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} d_{ij} f_{ij}(v_{ij}) \to \max$$

Если решение о том, какие именно виды продукции планируются к выпуску, т. е. какие именно инновационные проекты будут реализовываться, уже принято, то полученная задача представляет собой обычную задачу нелинейного программирования и может быть решена стандартными методами.

Построим модель выбора инновационных проектов. Выбор инновационной программы определяется переменными x_{ij}, которые равны единице, если принимается решение о реализации j-го инновационного проекта i-го ЦФО, и нулю – если такое решение не принемается.

Центр, получив информацию от всех ЦФО (i = 1, …, m), с учетом выделяемых ими денежных средств формирует оптимальный план нововведений, эффективный с точки зрения всего предприятия. Плановый объем денежных средств предприятия складывается из ресурсов отдельных ЦФО.

Найденный в результате решения этой задачи оптимальный план нововведений предприятия будет отличаться от оптимальных планов ЦФО. Отличие состоит в том, что общая прибыль будет, как правило, больше общей прибыли, полученной как сумма прибыли отдельных ЦФО. Это достигается за счет так называемого системного эффекта.

Более значительный эффект может быть достигнут при наличии у центра свободных средств, которые могут быть дополнительно направлены на реализацию инновационных проектов. При централизованном распределении средств получаемая модель имеет вид [2]

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} \Pi_{ij} x_{ij} \to \max;$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \le C + M;$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} \Pi_{ij} x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij}} \le r;$$

$$x_{ij} = \{1, 0\}$$

где Π_{ij} – плановая годовая прибыль на i-м ЦФО от внедрения j-го нововведения; c_{ij} – плановые годовые затраты на i-м ЦФО в j-е нововведение; C – плановый общий объем денежных средств всех ЦФО предприятия; x_{ij} – искомый параметр, показывающий, планируется ли к внедрению на i-м ЦФО j-е нововведение. Плановый объем денежных средств предприятия складывается из ресурсов отдельных ЦФО; M – денежные средства предприятия, которые оно может выделить на планы формирования нововведений ЦФО; r – допустимая средняя прибыль на 1 руб. затрат ресурсов (норма прибыли на капитал).

Дополнительное ограничение введено в модель с целью предупреждения его неэффективности с точки зрения внешних условий (процентных ставок банков, конкурентов и т. п.). Использование денежных средств центра увеличивает объем ресурсов, расширяет область нововведений, используемых ЦФО, что приводит к увеличению планируемой годовой прибыли.

Описанные модели позволяют осуществлять формирование инновационной программы при отсутствии зависимости ЦФО по технологической цепочке. В случае, когда такая зависимость имеет место, необходимо учитывать, что наращивание выпуска продукции в рамках реализации инновационного проекта одного ЦФО потребует наращивания выпуска продукции другими ЦФО, связанными с первым по технологии, причем это наращивание не имеет отношения к инновационным проектам этих ЦФО. Поэтому при централизованном распределении ресурсов необходимо решать следующую задачу [2]:

$$\min_{1 \le i \le m}\left(Q_i + \sum_{j=1}^{n_i} q_{ij} x_{ij}\right) \to \max$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i} c_{ij} x_{ij} \le C + M;$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i}\left(\Pi_{ij}x_{ij}\right)\Big/\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i}c_{ij}x_{ij}\le r;$$

$$x_{ij}=\{1,0\},$$

где c_{ij} – плановые годовые затраты финансовых средств i-го ЦФО на j-е нововведение, способствующее увеличению мощности предприятия; C – плановые годовые объемы финансовых средств, выделяемые ЦФО в план нововведений; M – плановый годовой объем финансовых средств, выделяемый центром в планы нововведений предприятий; Π_{ij} – плановый годовой объем прибыли, получаемый i-м ЦФО за счет увеличения объема выпуска продукции и снижения себестоимости ее изготовления; q_{ij} – плановый прирост годовой производственной мощности i-го ЦФО за счет внедрения j-го нововведения, выраженный в выпуске конечной продукции; Q_i – производственная мощность i-го ЦФО, выраженная в выпуске конечной продукции данного наименования на конец отчетного периода времени; r – допустимая средняя прибыль на 1 руб. затрат (норма прибыли на капитал). Реализация получаемого оптимального решения обеспечивает последовательное выравнивание производственных мощностей предприятия.

Объединяя построенные модели, с учетом общих ограничений и необходимости учета риска инновационных проектов, получаем следующую модель:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\Pi_{ij}x_{ij}\to\max;$$

$$\min_{1\le i\le m}(Q_i+\sum_{j=1}^{n_i}q_{ij}x_{ij})\to\max$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}R_{ij}x_{ij}\to\min;$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}c_{ij}x_{ij}\le C+M;$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\Pi_{ij}x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}c_{ij}x_{ij}}\le r;$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}v_{ijk}(x_{ij})\le V_k,\ k=1,2,\ldots,\mathrm{K},$$

$$x_{ij}=\{1,0\},$$

где R_{ij} – экспертная оценка рискованности соответствующего инновационного проекта, $v_{ijk}(x_{ij})$ – результат решения задачи оптимизации распределения общих дефицитных ресурсов для инновационных проектов, включенных в инновационную программу.

Таким образом, для повышения обоснованности принятия решений по распределению общих ресурсов при управлении инновационными процессами реструктурированного предприятия ОПК необходимо в общем случае решать задачу оптимизации с булевыми переменными, тремя критериями, алгоритмически заданными, и двумя линейными ограничениями. Точных эффективных методов решения таких оптимизационных задач в настоящее время не существует. Следовательно, необходимо разрабатывать приближенные методы решения таких задач.

Для решения поставленной проблемы были применены эволюционные алгоритмы, представляющие собой стохастическую оптимизационную процедуру, имитирующую процессы естественной эволюции [3]. На основе математической модели и многоагентных стохастических алгоритмов была разработана система поддержки принятия решений при управлении реальными инвестициями реструктурируемого предприятия (см. рисунок).

Для учета ограничений оптимизационной задачи применялись соответствующие механизмы.

Метод статических штрафов предполагает формирование для каждого ограничения семейства интервалов, которые определяют соответствующие коэффициенты штрафов.

Метод динамических штрафов, в отличие от предыдущего метода, вычисляет штрафы динамически, т. е. в зависимости от степени нарушения ограничений.

Метод «смертельных» штрафов заключается в отсечении («убийстве») недопустимых точек, т. е. эти точки не принимают более участия в воспроизводстве. Для некоторых задач этот простой метод может давать хорошие результаты. Для использования данного метода необходимо инициализировать стартовую популяцию допустимыми значениями.

В *методе адаптивных штрафов* штрафные функции зависят не только от номера итерации, но и от количества попаданий лучшего представителя популяции на каждом шаге в допустимую или недопустимую области.

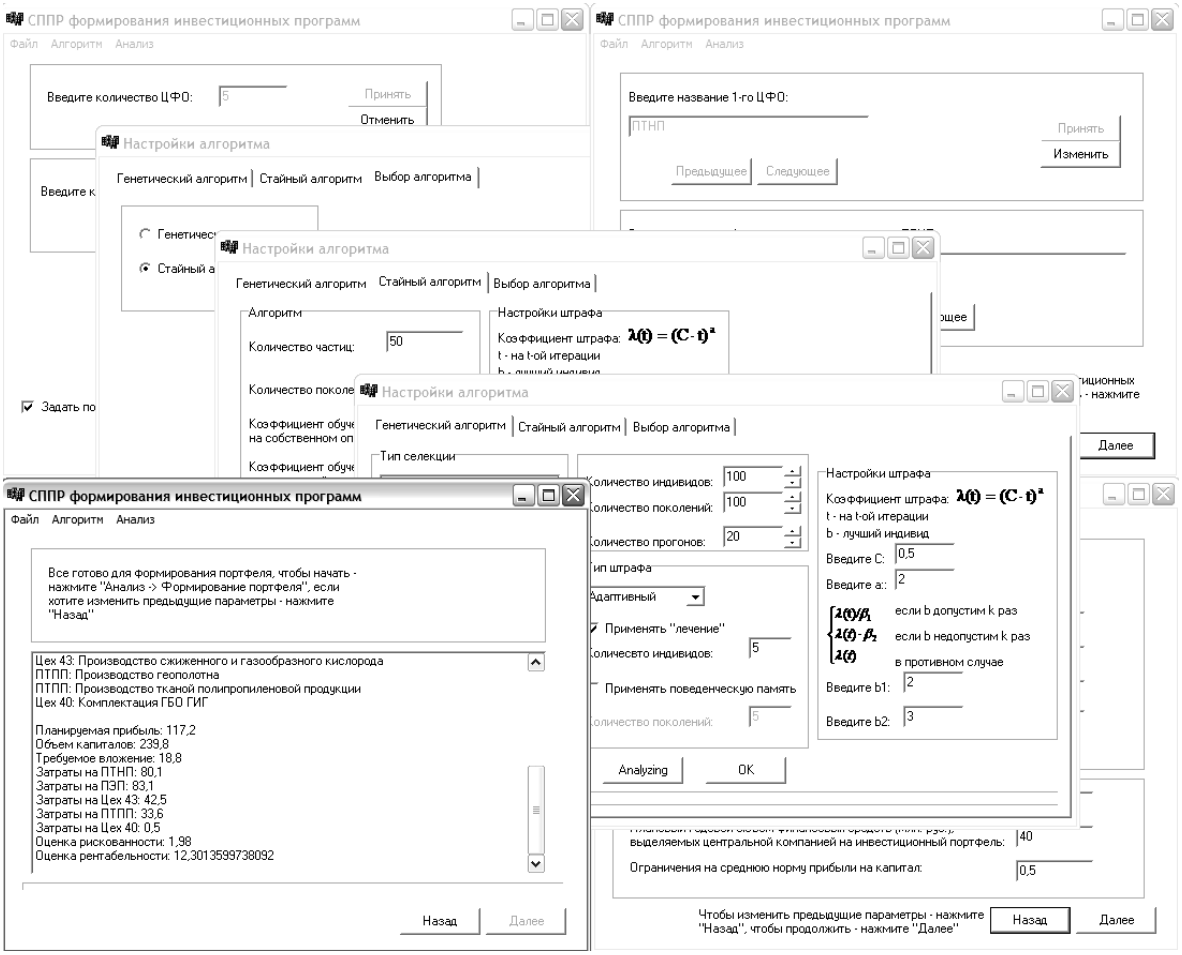
Однако эволюционные алгоритмы имеют множество настраиваемых параметров, от которых зависит эффективность их работы. Поэтому был проведен сравнительный анализ эффективности ГА на множестве тестовых задач безусловной и условной оптимизации.

На основе проведенных экспериментов установлено, что в большинстве случаев наиболее эффективным (надежным и быстрым) оказывается генетический алгоритм с равномерным скрещиванием. Равномерное скрещивание допускает модификацию, использующую многих родителей и организации селективного давления на этапе скрещивания, чего нет у стандартного генетического алгоритма. Рассматривались следующие модификации равномерного скрещивания:

– равномерное пропорциональное скрещивание – вероятность того, что ген именно этого родителя будет передан потомку пропорционально его пригодности;

– равномерное ранговое скрещивание – родители ранжируютя и вероятность того, что ген этого родителя перейдет потомку, пропорциональна рангу претендента, а непригодности;

– равномерное турнирное скрещивание – организуется турнир среди родителей, победитель которого передает свой ген.



Рабочие окна системы поддержки принятия решений

Была разработана программная система решения задач условной и безусловной оптимизации стандартным генетическим алгоритмом и генетическим алгоритмом с оператором модифицированного скрещивания, и с ее помощью были проведены исследования эффективности предложенного подхода.

При анализе было выявлено, что равномерное пропорциональное и равномерное турнирное скрещивание не увеличивают эффективность алгоритма. Равномерное ранговое и равномерное равновероятное скрещивание более эффективны, чем остальные виды, включая одноточечное и двухточечное. Наиболее эффективное количество родителей – 6.

По результатам исследования СППР формирования инновационных программ были получены следующие результаты: равномерное турнирное скрещивание не увеличивает эффективность алгоритма, равномерное равновероятное и равномерное пропорциональное скрещивание имеют примерно одинаковую эффективность, в среднем более высокую, чем одноточечное и двухточечное, равномерное ранговое скрещивание более эффективно, чем остальные виды скрещивания. Наиболее эффективное количество родителей – 7. Другие настройки ГА наиболее эффективные в среднем: тип селекции – турнирная селекция с размером турнира 5, тип мутации – средняя мутация: не использовать элитизм, не применять «лечение» с «поведенческой» памятью, метод учета ограничений – динамические штрафы.

В окончательном варианте предлагаемой СППР по умолчанию установлены наиболее эффективные настройки генетического алгоритма, однако при желании и наличии соответствующих навыков пользователь имеет возможность изменить параметры алгоритма.

СППР прошла успешную апробацию при решении реальной задачи формирования инновационной программы Химзавода-филиала ОАО «Красмаш» (6 – ЦФО, 32 – инновационных проекта, 6 общих дефицитных ресурсов). Данная система может быть рекомендована к применению на других предприятиях и в других отраслях.

Библиографические ссылки

1. Хайниш С. В., Клешков В. М. Российское предприятие ВПК: выжить и развиваться. М. : ЛЕНАНД, 2007.

2. Клешков В. М., Семенкин Е. С. Модели и алгоритмы распределения общих ресурсов при управлении инновациями реструктурированного машиностроительного предприятия // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2006. № 3. С. 24–31.

3. Семенкин Е. С., Лебедев В. А. Метод обобщенного адаптивного поиска для синтеза систем управления сложными объектами. М. : МАКС-пресс, 2002.

E. S. Semenkin, A. A. Shabalov, V. M. Kleshkov

SYSTEM OF SUPPORT OF DECISION MAKING FOR RESTRUCTURIZED MACHINE BUILDING ENTERPRISE INNOVATIONS MANAGEMENT

Mathematical models and optimizations algorithms, for support of decision making in innovations management of a restructured machine building enterprise, are considered. Optimization algorithms effectiveness is evaluated. DSS is described.

Keywords: innovations management, mathematical modeling, optimization, decision support system.

© Семенкин Е. С., Шабалов А. А., Клешков В. М., 2011

УДК 332.133.б

А. И. Таюрский

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ С УЧЕТОМ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Показана роль и значение системы профессионального образования в организационно-экономическом механизме формирования государственной промышленной политики с учетом перспектив развития человеческого потенциала.

Ключевые слова: промышленная политика, система профессионального образования, организационно-экономический механизм.

По содержанию промышленная политика относится к активному виду экономической политики. Механизмом влияния промышленной политики на экономический рост служит повышение конкурентоспособности национальных производителей с конкурентоспособностью производителей других стран. Однако доминирование в промышленной политике максимального благоприятствования отдельным отраслям, которые рассматриваются в качестве «локомотивов» экономического роста, по мнению автора, предполагает угнетение остальных отраслей экономики, что служит платой за быстрое развитие «приоритетных» отраслей.

Такая промышленная политика чревата многими рисками. Во-первых, возможно перераспределение основных ресурсов в пользу определенных финансово-промышленных групп. Во-вторых, даже при абсолютной свободе стратегического выбора правительства и от суждения воздействия на него влиятельных групп, наиболее перспективные отрасли могут быть выбраны неверно. Это связано с тем, что государство не всегда обладает достаточной информацией относительно существующих возможностей и обусловленных ими перспективных направлений экономического развития по отраслям. В-третьих, даже при правильном выборе «локомотивов» роста не исключено, что их количественный рост не будет сопровождаться повышением международной конкурентоспособности.

В экономически развитых странах промышленность, функционирующая в режиме периодического технологического и организационного обновления, постепенно становится инновационной. В новых организационных условиях должно происходить соединение рабочих кадров и рабочих мест, включение в инновационно-производственный процесс творческого потенциала работников.

В современных условиях одним из главных источников роста объемов промышленного производства и внутреннего валового продукта (ВВП) становится человеческий потенциал. Вложение средств в человеческие ресурсы является долгосрочным фактором повышения конкурентоспособности и выживания промышленных предприятий, а также улучшения макроэкономических показателей развития страны и регионов.

В эпоху высокоразвитой рыночной цивилизации и постиндустриального общества роль данного фактора производства в повышении эффективности промышленного развития непрерывно возрастает. К нему начинают предъявляться совершенно новые требования: обеспечение высокого качества быстро меняющейся по своим характеристикам и технологически все более сложной продукции, обеспечение снижения себестоимости продукции, повышаются значимость уровня образования и квалификации.

При формировании постиндустриальной экономики в условиях развития территориально-промышленных кластеров профессиональная образовательная составляющая государственной промышленной политики напрямую связана с потребностями предприятий и оперативным реагированием на требования, продиктованные изменениями рыночной конъюнктуры.

Несмотря на многочисленные исследования, в научной литературе практически отсутствуют работы, ориентированные на системное исследование взаимодействия государственной промышленной политики и человеческого потенциала.

В большинстве исследований используется технологический, маркетинговый и макроэкономический подходы к решению поставленной проблемы. Одна из них – это модернизированная система кадрового обеспечения, которая должна кардинально отличаться от существующей системы подготовки кадров. Нового работника информационного типа, ориентированного на непрерывное профессиональное образование, подготавливает по интегрированным учебным программам, разработанным, исходя из нужд экономики и образования в равной степени.

Кроме того, новая система кадрового обеспечения должна подразумевать и другой финансовый механизм реализации всех положений реформирования профессионального образования.

Система профессионального образования имеет большое значение для подготовки кадров для различных отраслей и сфер деятельности. В последние годы его роль возрастает. Происходит качественное обновление содержания образования, переход на разноуровневость и вариативность, усиление ориентации на удовлетворение потребностей населения, отработка гибких образовательных структур, обладающих способностью к быстрому перестраиванию в соответствии с изменяющимися потребностями экономики и населения в образовательных услугах.

Систему профессионального образования следует рассматривать как ведущее звено территориально-отраслевой системы подготовки квалифицированных кадров из числа молодежи и профессионального обучения взрослого населения, которая осуществляется в государственных и негосударственных образовательных учреждениях, включая образовательные структуры крупных акционерных и частных предприятий, имеющих государственную лицензию на право ведения образовательной деятельности.

В условиях сложившейся бюджетно-рыночной модели воспроизводства рабочей силы, где имеет место недофинансирование системы профессионального образования, образовательные учреждения должны входить в рыночные отношения через обновленный механизм своего функционирования: как производители образовательных услуг (основная экономическая функция); как потребители рабочей силы и финансовых средств для воспроизводства кадрового и материально-технического потенциала, а также содержания и развития профессиональных учебных заведений; как основные поставщики кадров для промышленных предприятий.

Таким образом, учреждения профессионального образования должны адаптироваться не только к рынкам труда и образовательных услуг, но и к формирующемуся инновационному производству.

Учреждения профессионального образования в своей деятельности совместно с региональными органами управления образованием, работодателями и Федеральной государственной службой занятости населения должны обеспечивать потребности промышленности региона в целом, и инновационного производства в особенности в квалифицированных рабочих и специалистах, согласуя спрос предприятий на подготовку, переподготовку и повышение квалификации. Внешняя эффективность работы образовательных учреждений профессионального образования должна определяться ростом спроса промышленных предприятий и населения на их услуги, числом выпускников, принятых на работу или продолжающих обучение в профессиональных образовательных учреждениях. Эти критерии определяют качество подготовки квалифицированных кадров и их привлекательность для работодателей и населения. Внутренняя эффективность определяется рациональным использованием ресурсов учебно-хозяйственного процесса, их возрастанием за счет государственных субвенций, капитализации внебюджетных доходов образовательных учреждений и привлечения частных инвестиций. Учреждения профессионального образования могут выступать конкурентами или социальными партнерами других образовательных учреждений, в том числе негосударственных, осуществляющих подготовку кадров из числа молодежи и профессиональное обучение взрослого населения региона.

Система профессионального образования может выступать в качестве базового профессионального образования для лиц, продолжающих обучение в учреждениях профессионального образования по совместимым отраслевым профессиям с соответствующим сокращением программ обучения.

За профессиональными образовательными учреждениями должно быть юридически закреплено право подготовки не только квалифицированных рабочих, но и специалистов.

Стабилизация экономики Российской Федерации после глобального экономического кризиса возможна только при условии постоянного развития инновационного производства. Это тесным образом связывает рост ВВП и подготовку кадров. Промышленное развитие любого региона ставит в качестве актуальной государственной задачи привлечение органов государственного и муниципального управления, работодателей и специалистов к социальному партнерству и организации профессионального образования с целью удовлетворения потребностей промышленных предприятий в специалистах соответствующей квалификации.

Существующий перекос в подготовке специалистов в системе высшего профессионального образования и наметившаяся «демографическая яма» приведут к снижению числа абитуриентов и студентов в начальном и среднем профессиональном образовании. Вместе с тем происходит падение престижа рабочих профессий у молодежи, старение рабочих кадров и их естественная убыль. Средний возраст рабочего по России составляет в настоящее время 54 года, желают получить рабочую профессию по России 4 % молодых людей.

Социальное партнерство становится важнейшим средством повышения качества профессионального образования и адаптации молодых кадров к новым экономическим условиям за счет совместных усилий социальных партнеров по сохранению кадрового потенциала предприятий, созданию новых рабочих мест, профессиональному внутрифирменному обучению работников, предоставления социальных гарантий

высвобождаемым работникам, направляя их на обучение и переподготовку.

Подготовка кадров относится не только к области образования, но и к сфере экономики, являясь межотраслевой задачей. В связи с этим решение проблем, обострившихся в последние годы в области подготовки кадров, приобретает особую важность.

В концепции модернизации российской системы образования особое место отводится профессиональному образованию. Необходимо создать условия для сознательного выбора молодежью профессии или специальности как гарантии надежности социального статуса и их адаптации к реалиям жизни.

Для этого необходимо модернизировать все уровни профессионального образования.

Согласно прогнозу Федеральной государственной службы занятости населения, заметного улучшения перспектив занятости инженерно-технических кадров, в связи с перепроизводством работников данного профиля и насыщением спроса на них в прежние годы, не ожидается. Соответственно сократится спрос на малоквалифицированных и неквалифицированных рабочих.

Возникает необходимость реагировать на конъюнктуру рынка труда, предвидеть ее изменения. В этой связи предстоит модернизация содержания и структуры профессионального образования в соответствии с требованиями отраслей промышленности, сферы услуг. Для этого необходимо создать систему постоянного мониторинга текущих и перспективных потребностей промышленности в соответствующих кадрах различной квалификации и эффективной системы содействия трудоустройству выпускников, включая развитие целевой контрактной подготовки кадров, формирование у всех выпускников учебных заведений профессионального образования готовности к самоопределению в вопросах выбора работы и открытию собственного дела.

Работу по подготовке кадров необходимо вести в соответствии с Концепцией модернизации образования, в которой делается упор на нехватку подготовки кадров и на перепроизводство специалистов по отдельным специальностям с высшим образованием, а также в соответствии с концепцией государственной социальной промышленной политики, создание которой крайне необходимо в сложившихся условиях.

Социальное партнерство – это относительно новое явление общественной практики, связанное с развитием демократических начал. Именно этим можно, на наш взгляд, объяснить слабую научную разработанность данной проблемы. Она практически не исследована применительно к специфике организации социального партнерства в учреждениях профессионального образования. В связи с этим необходимо усиливать научно-исследовательскую работу в этой области, что создает методическую основу для научного обоснования новых методов социального партнерства в профессиональном образовании.

Для стабилизации и развития системы профессионального образования необходимо реализовать следующие мероприятия по созданию системы социального партнерства и отработке схемы взаимодействия между органами службы занятости населения, работодателями, учебными заведениями профессионального образования по осуществлению адресной подготовки кадров, заключению прямых договоров и содействию трудоустройству выпускников.

Для служб занятости это выгодно тем, что позволяет заключать договоры на обучение и переобучение безработных граждан по специальностям, конкурентоспособным на рынке труда, для профессиональных учебных заведений – это дополнительная возможность увеличить внебюджетный доход и выпускать квалифицированные кадры, востребованные на рынке труда.

Невозможно актуализировать содержание профессионального образования и обеспечить повышение выпускных стандартов, их ориентацию на международный уровень, не предусмотрев участия работодателей в формировании стандартов. Инновационные предприятия предъявляют конкретные требования к профессиональной подготовке выпускников учреждений профессионального образования, которые проектируют учебный процесс так, чтобы максимально удовлетворить эти требования. Кроме того, сотрудничество с работодателями позволяет студентам профессиональных учебных заведений проходить практику на предприятиях под руководством более опытных специалистов и способствует их трудоустройству.

Развитие системы непрерывного профессионального образования является одним из факторов, влияющих на качество образования, которое предполагается изучать и исследовать.

A. I. Tayurskiy

THE ORGANIZATIONAL-ECONOMIC MECHANISM OF FORMATION OF THE STATE INDUSTRIAL POLICY WITH REGARD TO PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF HUMAN POTENTIAL

The author shows the role and value of system of professional education in the organizational-economic mechanism of formation of the state industrial policy with account of prospects of development of human potential.

Keywords: industrial policy, professional education system, organizational-economic mechanism.

© Таюрский А. И., 2011

УДК 332.1:629.73

А. Н. Фалалеев, О. Ю. Лютых

РЕГИОНЫ СТРАНЫ В «ТЕНИ» РОССИЙСКОГО АВИАПРОМА

Федеративное устройство России придает регионам страны особую значимость в ее социально-экономическом развитии. Это предполагает острую необходимость укрепления всей системы межрегиональных связей, где важное место принадлежит транспорту, в том числе авиации, которая для многих наших территорий выступает единственным средством перемещения грузов и пассажиров. Кризис отечественного авиапрома здесь сказывается особенно болезненно, что и требует принятия на самых верхних эшелонах нашей власти эффективных мер по радикальной корректировке стратегии развития отечественного авиастроения, используя механизм государственно-частного партнерства.

Ключевые слова: региональное устройство России, межрегиональные связи, роль авиаперевозок в их укреплении, развал отечественного авиапрома, меры по его восстановлению.

Федеративное устройство современной России и наличие на ее огромной территории большого числа регионов со всей остротой в число важнейших проблем сохранения целостности нашего государства и преодоления существенных различий в уровне социально-экономического развития регионов ставит обеспечение между ними надежных, экономичных транспортных связей. Среди них нельзя переоценить значимость отечественной авиации, которая во многих регионах страны фактически остается чуть ли не единственным средством перемещения граждан и грузов в трудно доступные места их проживания.

Строительство железных и автомобильных дорог в таких местностях является экономически нецелесообразным из-за высокой стоимости их строительства и очень малой окупаемости затрат.

Участившиеся в мире и в нашей стране случаи стихийных бедствий, как и катастроф техногенного характера, также резко повышают роль авиации в преодолении их негативных последствий.

Авиакатастрофы и черезвычайные происшествия резко снизили у наших авиапассажиров чувство безопасности и потребовали полной ясности о сегодняшнем общем положении дел в этой отрасли экономики и о перспективах ее развития в будущем.

Переход страны в систему рыночных отношений требует также активного развития не только межрегиональных, но и международных экономических связей, что вызывает необходимость по всем укреплять конкурентоспособность по всем направлениям, в том числе и за счет авиастроения и авиаперевозок.

Однако текущее состояние российского авиапрома и всей авиации характеризуется крайней противоречивостью и неоднозначностью, если не сказать больше. Общий спад промышленного и особенно высокотехнологичного производства в 90-е годы XX в., снижение темпов и структуры экономического развития особенно сильно сказалось на этой отрасли хозяйства, хотя за последнее десятилетие и наметились некоторые положительные шаги, что позволяет рассчитывать на развитие позитивных тенденций. Мы имеем в виду прежде всего принятие Министерством промышленности и торговли РФ в 2005 г. документа «Стратегия развития авиационной промышленности на период до 2015 г.».

В данном документе совершенно справедливо указана одна из основных проблем российской авиационной промышленности, а именно: «В области гражданской авиатехники некоторое время продолжатся единичные продажи самолетов, разработка которых была в основном завершена еще в советский период. Эта техника будет поставляться, главным образом, на внутренний рынок, поскольку их продажи на мировом рынке при существующих формах организации товаропроводящей сети и финансового обеспечения экспортных операций маловероятны: зарубежные аналоги уже воплощены, технологичны и успешно эксплуатируются. Однако в условиях все расширяющегося проникновения на российский авиарынок иностранной авиатехники, отсутствия доступных инструментов финансирования производства и коммерческого продвижения отечественной продукции, низкого качества послепродажного обслуживания и все возрастающей цены поставщиков комплектующих, экономическая целесообразность дальнейшего производства гражданской авиатехники будет, наиболее вероятно, вскоре утрачена» [1].

Казалось бы, что за прошедшее с 2005 г. время ситуация должна была в корне измениться. Однако, к сожалению, приходится констатировать, что и ныне доля «иномарок» во флоте отечественных авиакомпаний неуклонно увеличивается, и за 2010 г. она возросла же до 42 %. На эту тенденцию не повлияло даже некоторое снижение темпов поставок – за прошлый год Россия закупила 76 магистральных и региональных лайнеров (в 2009 г. – 111, в 2008 г. – 108). В абсолютном исчислении количество «иномарок» в российском небе за год возросло с 377 до 441 при общем объеме активного парка российских авиакомпаний на начало 2011 г. в 1058 находящихся «на крыле» пассажирских и грузовых самолетов (за исключением в большинстве своем устаревших машин вместимостью до 20 человек, работающих на местных воздушных линиях).

На сегодняшний момент зарубежные воздушные суда уже господствуют на дальних и средних магистралях, где их доля достигла 74–75 %. А если принять

во внимание, что все остающиеся в парке пассажирские Ил-62М и четыре из десяти Ил-96-300 не участвуют в коммерческих авиаперевозках, а решают задачи в интересах правительства и Министерства обороны, то удельный вес «иномарок» среди пассажирских дальнемагистральных лайнеров фактически достиг уже 92 %.

Ощутимый перевес в пользу самолетов отечественной конструкции сохраняется пока только в сегменте ближнемагистральных и региональных лайнеров. Здесь доля зарубежных воздушных судов пока не превышает 13 %. Но уже обозначилась тенденция роста – годом раньше этот показатель составлял 9 %. К сожалению, в минувшем году не получила развитие обозначившаяся было тенденция на «омоложение» поступающих из-за границы лайнеров. Так, если в 2009 г. четверть всех прибывших самолетов были новыми, непосредственно с заводов-изготовителей, то в 2010 их доля снизилась до 9 %. В результате количество откровенно поношенных (старше 15 лет) самолетов составляло около 13 %. Наибольшим же спросом, как и раньше, пользуются самолеты 6–15-летнего возраста – их доля в общем объеме поставок возросла с 57 до 74 %. Новые самолеты в прошлом году позволил себе приобрести только «Аэрофлот». Остальные 15 перевозчиков, получившие в 2010 г. в свое распоряжение «иномарки», довольствовались техникой вторичного рынка [2].

В итоге такого рода «стратегии» наибольший урон понесло прежде всего местное авиасообщение, для компаний которого характерна высокая степень износа воздушных судов и практическое отсутствие возможностей для сколько-нибудь существенного обновления парка.

По словам директора по стратегическому планированию и развитию компании «Русские машины» Александра Филатова, основной причиной кризисного состояния сектора является низкая экономическая эффективность региональных перевозок в России для частных операторов аэропортов и авиаперевозчиков. Со времен СССР количество действующих аэродромов сократилось более чем в три раза – с 1302 до 330 (реально из них действуют 260). Не от хорошей жизни уменьшились и объемы перевозок – с 1990 г. пассажирооборот на внутренних авиалиниях упал с 71 до 43 %.

В свою очередь, генеральный директор «Регион-Авиа» Денис Павшинский полагает, что у его компании есть будущее, поскольку рынок региональных перевозок пока никем не занят. У людей есть потенциальная возможность летать на небольшие расстояния – например, из Екатеринбурга в Караганду или Кустанай, из Самары в Пермь, Липецк или Ульяновск, из Сочи в Ростов или Краснодар. Сейчас же около 2/3 внутренних российских авиаперелетов осуществляется через Москву. Например, чтобы добраться из Перми в Казань, нужно лететь сначала в Москву из Перми, а уже потом из Москвы в Казань. Такие «долгоиграющие» маршруты приводят к удорожанию билетов и непопулярности воздушных перевозок [4].

Здесь уместно сослаться на доклад «О стратегии развития национального авиастроения», автором которого является Олейников Вадим Анатольевич, летчик-испытатель Министерства авиационной промышленности РФ, высококвалифицированный эксперт комитета по транспорту Государственной Думы РФ. По его словам, спрос на воздушные перевозки в нашей стране крайне низок, несмотря на исключительную роль воздушного транспорта в России по причинам большой географической протяженности территории и недостаточного развития наземной транспортной инфраструктуры. Он подчеркнул определяющую роль авиации для развития страны и экономики, где участие Правительства Российской Федерации в решении системных проблем отечественной авиационной промышленности имеет решающее значение. Однако такое участие окажется результативным только в случае избрания эффективного концептуального подхода, позволяющего избежать неоптимальных дорогостоящих решений.

По мнению эксперта, на сегодняшний день удовлетворение потребностей собственных авиакомпаний в воздушных судах не должно быть единственной целью развития отечественного авиастроения. В России ныне только за счет внутреннего спроса нельзя достичь рентабельных объемов продаж авиатехники. Активно используя потенциал ближайшего вступления страны в ВТО, наш авиапром потенциально способен стать серьезным конкурентом на внешнем рынке, а этим он обеспечит массовую занятость и подготовку высококвалифицированных кадров, будет в большей мере стимулировать общее научно-технологическое и экономическое развитие страны.

Тем не менее, одной из самых сложных и многогранных проблем в текущем и перспективном состоянии российской авиационной промышленности следует считать пока сохраняющиеся крайне малые объемы серийного производства пассажирских и грузовых самолетов различных классов. Объединенная авиастроительная корпорация (ОАК) в 2009 г. подала авиакомпаниям только 14 гражданских самолетов, хотя по плану должна была подготовить 22 самолета. По сравнению с 2008 г. объем поставок вырос только на 5 машин.

В частности, ОАК продала четыре Ил-96, пять Ту-204, три Ту-214 и два Ан-148. Иностранные компании в лице кубинской Cubana de Aviacion и северокорейской Air Koryo, купили у ОАК по одному самолету Ту-204, а остальные были проданы российским компаниям [Lenta.ru: В России за год собрали 14 гражданских самолетов].

В 2010 г. ОАК поставила заказчикам семь гражданских самолетов, шесть из которых купили российские госструктуры, а в 2008 г. – только 9 машин. Всего в 2010 г. ОАК передала заказчикам 75 самолетов, из которых гражданских было только семь. Четыре Ан-148 получила государственная авиакомпания «Россия», по одному Ту-204 – «ВТБ-Лизинг» и северокорейская AIR Koryo. Еще один Ту-214 был передан управлению делами президента РФ.

На фоне этих не выдерживающих никакой критики мизерных показателей примером, достойным подражания, может служить деятельность «Эйр бас» и «Боинг» – крупнейших мировых производителей гражданских самолетов, которые выпускают каждый в 60–70 раз больше лайнеров, чем весь российский авиапром. Объемы поставок «Эйр бас» и «Боинг» в 2010 г. составили 510 и 462 гражданских самолета.

На начало 2011 г. в перспективном портфеле заказов ОАК общий их объем насчитывал 495 гражданских самолетов. Для сравнения «Боинг» только в 2010 г. получил контракты на 530 самолетов, доведя тем самым свой портфель заказов до 3,4 тыс. лайнеров.

В предварительном отчете ОАК за 2010 г. говорится, что выручка компании по сравнению с 2009 г. выросла на 44,7 % – до 165 млрд руб. Основная доля в доходах компании, как и ранее, приходится на продажу продукции военного назначения – 117 млрд руб. Объем полученных средств от продаж коммерческих самолетов, по сравнению с 2009 г., увеличился до 20 млрд руб. (на 60 %). Оставшаяся, причем большая, часть выручки ОАК приходится на доходы от продажи государству собственной документации на самолеты или их компоненты.

Таким образом, российская авиационная промышленность при существующих незначительных объемах выпуска воздушных судов не в состоянии достичь удовлетворительных уровней рентабельности и хотя бы в минимальной степени конкурировать с авиапроизводителями зарубежных стран. Поэтому ее эффективное развитие требует не сокращения оставшихся предприятий и квалифицированного персонала, общая тенденция которого явно прослеживается, а обеспечения массового производства конкурентоспособной авиационной техники, востребованной и на внутреннем, и на внешнем рынках. При этом важно понимать, что наша авиационная промышленность особо нуждается в государственной поддержке (в том числе финансовой) из-за большой длительности жизненного цикла изделий и высокого уровня финансовых рисков. По этим причинам авиастроительные проекты являются малопривлекательными для частного капитала. Выход здесь поможет найти, с одной стороны, более полное использование института государственно-частного партнерства, что пока в России находится еще на ранней стадии развития, а с другой – переход Минтранса от позиций декларативных утверждений значимости авиатраспорта для социально-экономического развития страны к практике реальных дел по воплощению ранее принятого документа [1] с четко обозначенными сроками и конкретными показателями каждого из ее этапов.

Пока же такое, без всякого преувеличения, подлинно катастрофическое положение дел в нашем авиастроении создает впечатление, что в стране существуют влиятельные силы очень заинтересованные в развале когда-то мощного потенциала нашего авиапрома и полном подчинении этой стратегически очень важной для всей экономики и даже обороноспособности государства отрасли зарубежным производителям авиатехники, которые уже обеспечили себе фактическое господство в нашем воздушном пространстве.

Это впечатление очень подкрепила недавняя публикация в [7], раскрывающая механизм «ползучего» внедрения зарубежных компаний («Боинг», «Эрбас», «Ролс-ройс», «Снекма») в самые ключевые структуры отечественного авиапрома, позволяющий безвозмездно захватывать здесь наши ноу-хау, как и самих носителей этого. Например, «Боинг» еще в 1998 г. создал в России крупнейший в Восточной Европе конструкторский центр, ведущий разработки для нужд корпорации. В начале здесь работали только 12 инженеров из КБ им. С. В. Ильюшина, а ныне уже числятся примерно 140 штатных сотрудников и около тысячи «договорников». При этом в штат переманиваются за счет вдвое-втрое повышенной зарплаты самые творческие «мозги» из наших КБ, вместе с которыми достоянием зарубежных компаний становятся и наши конструкторские разработки.

Здесь, как и в аналогичных структурах других зарубежных компаний, действующих в России, широко используется метод своеобразной «аренды» специалистов, когда по договору с нашими соответствующими предприятиями, КБ, их сотрудники часть рабочего времени (25, 50 % и т. д.) трудятся у себя, а другую – на зарубежную фирму. И если пока подобная практика еще не приняла массовый характер, то обсуждаемый и активно лоббируемый ныне в Государственной думе РФ соответствующий законопроект может придать ей уже не добровольный, как ныне, со стороны работника характер, а принудительный, поскольку руководитель предприятия получит право передавать его в «аренду».

Сейчас как одно из достижений проекта «Сколково» преподносится участие компании «Боинг». Вряд ли стоит нам впадать в оптимизм от того, что наши ученые, конструкторы, программисты будут создавать новые разработки воздушных судов, но не для своего авиастроения, а для «Боинга», который планирует инвестировать в свои проекты в России около 27 млрд долл. в течение 30 лет. И если в самых верхних эшелонах нашей власти не будет проявлена решимость радикально изменить положение дел в нашем авиапроме, то на многие годы вперед россиянам придется постоянно сталкиваться еще с одним из многих других печальных последствий деятельности идеолога реформ 90-х гг. Е. Гайдара, прямо заявлявшего: «Гражданское авиастроение нам ни к чему – будем на «Боингах» летать».

Библиографический список

1. Стратегия развития авиационной промышленности РФ на период до 2015 года / Мин-во промышлен. и торговли РФ. М., 2005.

2. Каберник Ю. «Иномарки» в российском небе // Взлет. 2011. № 3. С. 18–19.

3. Олейников В. А. О стратегиях развития национального авиастроения : доклад // ИнтерАэроКом СПб., 2010. 12 августа.

4. Камагорова С. Спасти региональную авиацию // Авиасалоны мира. 2009. № 6. С. 24.

5. Lenta.ru. В России за год собрали 14 гражданских самолетов. URL: http://lenta.ru/news/2010/01/22/oak.

6. Lenta.ru. В России за год собрали 9 гражданских самолетов. URL: http://lenta.ru/news/2011/02/03/oak/

7. Авиастроение. Восток-запад: дорога с односторонним движением // Аргументы недели. 2011. 3 ноября.

A. N. Falaleev, O. Yu. Lyutykh

REGIONS OF THE COUNTRY IN THE «SHADOW» OF RUSSIAN AVIATION INDUSTRY

The federal structure of Russia lays a peculiar importance to the regions of the country in its social-economic development. It implies a cute necessity to strengthen the whole system of interregional connections, where the most important role is assigned to the transport, including aviation. It becomes the only means of goods and passengers transference to many regions.

The crisis of the Russian air industry affects it most of all. It requires the supreme authority to take effective measures to radically correct the strategy of the Russian air industry development, including the mechanism of state and private partnership.

Keywords: regional structure of Russia, interregional ties, the role of air transportation in their strengthening, measures to restore it.

© Фалалеев А. Н., Лютых О. Ю., 2011

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аверьянов Евгений Сергеевич – аспирант Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации. Область научных интересов – моделирование и разработка методов реализации ресурсов ретрансляционных узлов в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: art3456@rambler.ru.

Автономов Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1977 г. Область научных интересов – механика деформирования и разрушения. E-mail: avtonomov@sibsau.ru.

Александров Юрий Леонидович – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и планирования, ректор Красноярского торгово-экономического института. Окончил Ленинградский институт советской торговли имени Ф. Энгельса (ЛИСТ) в 1973 г. Область научных интересов – развитие торговли Красноярского края. E-mail: kgtei @kgtei.ru.

Аплеснин Сергей Степанович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1976 г. Область научных интересов – физика конденсированного состояния, физика магнитных явлений. E-mail: aplesnin@sibsau.ru.

Бадмаева Ксения Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – разработка методического, алгоритмического обеспечения для хранилищ данных, системы поддержки принятия решений. E-mail: ksenya@icm.krasn.ru.

Бартенев Владимир Афанасьевич – доктор технических наук, профессор. Окончил Томский государственный университет. Область научных интересов – проектирование и разработка космических систем и космических аппаратов связи и телевещания, геодезия и навигация, теория и методы космической навигации, обработка информации и управление движением КА.

Белозерцев Владимир Семенович – кандидат технических наук, 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. Т. 262-95-61.

Беляков Геннадий Павлович – доктор экономических наук, профессор кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1966 г. Область научных интересов – управление инновационной деятельностью предприятия, региональная экономика. E-mail: belyakov.sovetnik@mail.ru.

Белякова Елена Владимировна – доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой логистики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1996 г. Область научных интересов – логистика, региональная экономика. E-mail: ev_belyakova@rambler.ru.

Бойко Андрей Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой менеджментА Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский институт космической техники в 1990 г. Область научных интересов – управление основными производственными фондами машиностроительных предприятий. E-mail: boiko@sibsau.ru.

Боровик Игорь Николаевич – старший преподаватель кафедры ракетных двигателей Московского авиационного института (государственного технического университета). Окончил Московский авиационный институт (государственный технический университет) в 2005 г. Область научных интересов – жидкостные ракетные двигательные установки межорбитальных транспортных аппаратов и космических разгонных блоков, многокритериальная оптимизация проектных параметров жидкостных ракетных двигательных установок. E-mail: borovik.igor@gmail.com.

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.

Бураков Сергей Васильевич – младший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Институт математики Сибирского федерального университета в 2007 г. Область научных интересов – математическое моделирование, численные методы, интеллектуальные информационные технологии, эволюционные алгоритмы. E-mail: burakov_krasu@mail.ru.

Васильева Зоя Андреевна – доктор экономических наук, директор Института управления и бизнес-технологий Сибирского федерального университета. Окончила Томский государственный университет

в 1977 г. Область научных интересов – управление инновациями. Т. 291-27-81.

Вахтеев Евгений Витальевич – аспирант 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 – нанесение покрытий различного назначения. Т. 8-962-065-32-32.

Вейсвер Татьяна Владимировна – аспирант кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. E-mail: braverman-vladimir@rambler.ru.

Веловатый Евгений Александрович – начальник отдела программного обеспечения корпоративных систем управления департамента информационных технологий ОАО «Сибирьтелеком». Окончил Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики в 2005 г. Область научных интересов – сети и системы связи, обработка информации. Т. (383) 2-191-546.

Галушин Павел Викторович – ассистент кафедры высшей математики 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 – стохастические алгоритмы оптимизации, интеллектуальные компьютерные системы. Т. 291-91-19.

Гирн Алексей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1998 г. Область научных интересов – нанесение покрытий различного назначения, упрочнение поверхностей. Т. 8-908-224-73-25.

Головенкин Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой космического машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Казанский авиационный институт в 1964 г. Область научных интересов – проектирование и конструирование систем и космических аппаратов, управление инновациями. E-mail: mgv@iss-reshetnev.ru.

Голощапова Ольга Сергеевна – кандидат экономических наук, заместитель руководителя департамента экономики администрации г. Красноярска. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2001 г. Область научных интересов – налоги, инновационная инвестиционная деятельность. E-mail: gos@admkrsk.ru.

Гомонова Ольга Валерьевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева в 2004 г. Область научных интересов – теория пластичности, дифференциальные уравнения. E-mail: gomonova@sibsau.ru.

Гуляев Илья Алексеевич – аспирант кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, инженер ОАО «Инфомационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники в 2009 г. Область научных интересов – радиотехника, радиосвязь, цифровая обработка сигналов. E-mail: dasqwaer@gmail.com.

Дегтерев Александр Степанович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор ФГУП ЦКБ «Геофизика». Окончил Красноярский политехнический институт в 1969 г. Область научных интересов – системный анализ и управление. E-mail: adm@geockb.ru.

Дегтерев Денис Александрович – кандидат технических наук, заместитель директора по экономике ФГУП ЦКБ «Геофизика». Окончил Красноярский политехнический институт в 1999 г. Область научных интересов – системный анализ и управление. E-mail: adm@geockb.ru.

Демиденко Николай Данилович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН. Окончил Томский государственный университет в 1963 г. Область научных интересов – моделирование, управление и оптимизация систем с распределенными параметрами. E-mail: secretary@sktb.krsn.ru.

Евкин Игорь Васильевич – начальник сектора отдела 370 ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1971 г. Область научных интересов – нанесение покрытий различного назначения, создание новых материалов. Т. 8-950-426-20-07.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, профессор, декан финансово-экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Алтайский политехнический институт имени И. И. Ползунова в 1985 г.; аспирантуру Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина в 1989 г. Область научных интересов – стратегический и инновационный менеджмент. E-mail: yuri_erygin@mail.ru.

Жуков Вадим Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – интеллектуальные технологии анализа

данных, биоинспирированные алгоритмы моделирования и оптимизации, методы и средства обнаружения инцидентов информационной безопасности. E-mail: vadimzhukov@mail.ru.

Жучков Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2001 г. Область научных интересов – информационно-аналити-ческие системы, системы управления реестрами и справочниками, хранилища данных, прикладные исследования в области автоматизации муниципального заказа. E-mail: dimkas@icm.krasn.ru.

Зеленская Татьяна Васильевна – доктор экономических наук, профессор кафедры международного кадрового и проектного управления Международной высшей школы бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета, заместитель главы города – руководитель департамента экономики администрации г. Красноярска. Окончила Новосибирский филиал Московского технологического института легкой промышленности в 1980 г. Область научных интересов – инновационная инвестиционная деятельность. E-mail: econom@admkrsk.ru.

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: ivan43ura@yandex.ru.

Ивасев Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Казанский государственный университет в 1971 г. Область научных интересов – управление качеством. E-mail: ivasev@sibsau.ru.

Касеева Наталья Андреевна – курсант Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации. Область научных интересов – моделирование и разработка методов реализации ресурсов ретрансляционных узлов в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: nat53880735@yandex.ru.

Кацура Александр Владимирович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Иркутский политехнический институт в 1982 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация авиационной техники. E-mail: katsu60@mail.ru.

Клешков Владимир Михайлович – кандидат технических наук, директор Химзавода – филиала ОАО «Красмашзавод» п. Подгорный Красноярского края. Окончил Казанский авиационный институт в 1972 г. Область научных интересов – управление организационными системами, системы поддержки принятия решений, информационные системы. Т. (391-97) 9-71-25.

Клименкова Татьяна Александровна – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры менеджмента Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2005 г. Область научных интересов – управление в социальных и экономических системах. E-mail: km.kgtei@mail.ru.

Ковалев Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор, ректор Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1985 г. Область научных интересов – отказоустойчивые программные архитектуры, мультиверсионное программное обеспечение, многоатрибутивные методы принятия решений, мультилингвистические технологии обучения. E-mail: kovalev.fsu@mail.ru.

Коробко Анна Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный университет в 2004 г. Область научных интересов – системы поддержки принятия решений, разработка методического, алгоритмического обеспечения для информационно-аналитической поддержки управления. E-mail: lynx@icm.krasn.ru.

Корсукова Нина Дмитриевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический институт в 1967 г. Область научных интересов – проблемы воспроизводства социальной рыночной экономики. E-mail: nina_dmitrievna@mail.ru.

Кравченко Вячеслав Александрович – аспирант кафедры электронных вычислительных систем Восточно-Сибирского государственного технологического университета (ВСГТУ). Окончил ВСГТУ в 2009 г. Область научных интересов – формальные грамматики, компиляторы и интерпретаторы, функциональное программирование, системы построения трансляторов, генераторы компиляторов, формальное описание естественных языков (текстов), кибернетика, инженерия знаний. E-mail: krawyach@mail.ru.

Крушенко Генрих Гаврилович – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, главный научный сотрудник отдела машиноведения Института вычислительного моделирования СО РАН. Окончил Омский машиностроительный институт в 1955 г. Область научных интересов – материаловедение в космической отрасли. E-mail: genry@icm.krasn.ru.

Кудымов Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Томский государственный университет в 1962 г. Область научных интересов – упрочнение металлических сплавов. Т. 262-56-92.

Кузнецов Александр Алексеевич – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 2002 г. Область научных интересов – математическое моделирование инновационных процессов. E-mail: alex_kuznetsov80@mail.ru.

Кузовников Александр Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры космических информационных систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, начальник группы ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – радиотехника, радиолокация, цифровая обработка сигналов. E-mail: ujub@list.ru.

Куимов Василий Васильевич – доктор экономических наук, профессор, заместитель главы города – директор департамента социальной политики администрации г. Красноярска. Окончил Красноярский технологический институт в 1968 г. Область научных интересов – экономика, управление предприятиями оборонно-промышленного комплекса. Т. 291-92-80.

Лавренов Владимир Алексеевич – доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Киевскую военную авиационную академию в 1985 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация авиационной техники. E-mail: katsu60@mail.ru.

Логинов Юрий Юрьевич – доктор физико-математических наук, профессор, проректор по научно-инновационной деятельности Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1976 г. Область научных интересов – физика полупроводников. E-mail: loginov@sibsau.ru.

Лютых Олег Юрьевич – кандидат исторических наук, доцент Красноярского государственного педагогического университета имени В. П. Астафьева. Окончил Красноярский государственный педагогический университет в 1988 г. Область научных интересов – региональная экономика. E-mail: klassika75@inbox.ru.

Лютых Юрий Александрович – доктор экономических наук, заведующий кафедрой землеустройства Красноярского государственного аграрного университета. Окончил Воронежский сельскохозяйственный институт в 1960 г. Область научных интересов – региональная экономика. Т. 221-63-64.

Лячин Владимир Иванович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный педагогический институт в 1963 г. Область научных интересов – системные факторы инновационного роста российской экономики. Т. 8 (931) 213-26-62.

Мирзаев Роман Александрович – аспирант кафедры технической механики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – робототехника, мехатроника. E-mail: ramirzaev@mail.ru.

Михеев Анатолий Егорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1973 г. Область научных интересов – нанесение покрытий различного назначения, упрочнение поверхностей, создание новых материалов. Т. (391)262-95-61.

Могнонов Петр Борисович – кандидат технических наук, доцент, декан электротехнического факультета Восточно-Сибирского государственного технологического университета (ВСГТУ). Окончил Томский институт автоматизации, систем управления и радиоэлектроники в 1976 г. Область научных интересов – формальные грамматики, компиляторы и интерпретаторы, функциональное программирование, системы построения трансляторов, генераторы компиляторов, формальное описание естественных языков (текстов), кибернетика, инженерия знаний. Т. +79503939495.

Назаров Артем Сергеевич – курсант Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации. Область научных интересов – моделирование и разработка методов реализации ресурсов ретрансляционных узлов в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: art3456@rambler.ru.

Назаров Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации, докторант кафедры телекоммуникаций Ульяновского государственного технического университета, член Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А. С. Попова (РНТОРЭС). Окончил Военную академию связи имени М. Буденного в 1997 г. Область научных интересов – моделирование и разработка методов реализации ресурсов ретрансляционных узлов в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: art3456@rambler.ru.

Ничепорчук Валерий Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1992 г. Область научных интересов – геоэкология, экспертные системы, геоинформационые системы. E-mail: valera@icm.krasn.ru.

Новикова Ирина Николаевна – ассистент кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – менеджмент аэрокосмического предприятия. E-mail: iranovikova2009@yandex.ru.

Ноженков Александр Ильич – кандидат технических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – информационно-аналитические системы, разработка методического, алгоритмического обеспечения для сбора и анализа данных. E-mail: alex_n@icm.krasn.ru.

Панфилов Илья Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – стохастические методы оптимизации, многопроцессорные системы. E-mail: crook_80@mail.ru.

Пенькова Татьяна Геннадьевна – кандидат технических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк) в 2004 г. Область научных интересов – системы поддержки принятия решений, разработка методического, алгоритмического обеспечения для информационно-аналитической поддержки управления. E-mail: Penkova_t@icm.krasn.ru.

Петров Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1974 г. Область научных интересов – исследование свойств, обработка информации. E-mail: petrov@etk.ru.

Победаш Павел Николаевич – кандидат физико-математических наук, докторант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1991 г. Область научных интересов – математическая экономика, теория оптимизации. E-mail: pobed_pnp@mail.ru.

Подвербных Ольга Ефимовна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой международного кадрового и проектного управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский технологический институт в 1988 г. Область научных интересов – региональная экономика, сфера услуг, инновации и инвестиции в управлении человеческими ресурсами. E-mail: podverbnih@sibsau.ru.

Попов Алексей Михайлович – доктор физико-математических наук, доцент, директор Института информатики и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1981 г. Область научных интересов – алгебра, защита информации, обработка изображений. E-mail: vm_popov@sibsau.ru.

Попов 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 – физика твердого тела. E-mail: epopov@bmail.ru.

Прокопьев Андрей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерных систем зданий и сооружений инженерно-строительного института (ИСИ) Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1984 г. Область научных интересов – системы управления строительных и дорожных машин, моделирование технических систем. E-mail: prok1@yandex.ru.

Простакова Инна Витальевна – кандидат физико-математических наук, главный специалист департамента экономики администрации г. Красноярска. Окончила Красноярский государственный университет в 1996 г.; Красноярский государственный университет в 2005 г. Область научных интересов – управление государственными и муниципальными финансами. E-mail: resurs2@admkrsk.ru.

Пучнин Максим Сергеевич – программист кафедры компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – механика деформирования и разрушения. E-mail: mc_puchnin@bk.ru.

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 – организация, планирование и управление производством. E-mail: ragfil@mail.ru.

Рыжиков Иван Сергеевич – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – системный анализ. E-mail: ryzhikov-88@yandex.ru.

Саакян Аревик Маисовна – ассистент кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – налоги и налогообложение, инновационная деятельность промышленных предприятий, инвестиции. E-mail: revishatka@mail.ru.

Семенкин Евгений Станиславович – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, интеллектуальные информационные технологии, эволюционные алгоритмы. E-mail: eugensemenkin@yandex.ru.

Семенкина Ольга Эрнестовна – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, стохастические алгоритмы оптимизации, управление в организационно-технических системах. E-mail: saor_semenkin@sibsau.ru.

Сенашов Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-экономических наук Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1975 г. Область научных интересов – механика твердого тела, математическое моделирование в экономики. E-mail: sen@sibsau.ru.

Смирнов Александр Николаевич – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, младший научный сотрудник НИИ ракетно-космической техники и технологий. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – прочность и износостойкость деталей машин. E-mail: smirnov@sibsau.ru.

Смирнов Николай Анатольевич – доктор технических наук, профессор, директор НИИ ракетно-космической техники, заведующий кафедрой технической механики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1978 г. Область научных интересов – робототехника, мехатроника, механика сложных технических систем. E-mail: smirnov@sibsau.ru.

Таюрский Анатолий Иванович – доктор экономических наук, директор Института проблем непрерывного образования. Окончил Сибирский технологический институт в 1975 г. Область научных интересов – экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами (промышленность). E-mail: naukaobr@mail.ru.

Терсков Виталий Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярское высшее командное училище радиоэлектроники ПВО в 1982 г. Область научных интересов – многопроцессорные системы, параллельные вычисления. E-mail: crook_80@mail.ru.

Треногин Николай Геннадьевич – кандидат технических наук, директор департамента информационных технологий ОАО «Сибирьтелеком». Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1979 г. Область научных интересов – телекоммуникации и информационные технологии. Т. (383) 2-191-122.

Усаков Владимир Иосифович – доктор технических наук, профессор, главный инженер ФГУП ЦКБ «Геофизика». Окончил Красноярский политехнический институт в 1969 г. Область научных интересов– системный анализ и управление. E-mail: adm@geockb.ru.

Фалалеев Альберт Николаевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической теории и управления Красноярского государственного педагогического университета имени В. П. Астафьева. Окончил Красноярский государственный педагогический институт в 1953 г. Область научных интересов – экономические проблемы образования и социально-экономические проблемы инновационного развития предприятий. Т. 8-950-970-65-17.

Филюшина Елена Владимировна – аспирант кафедры информационных экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2011 г. Область научных интересов – механика твердого тела. E-mail: filyushina@sibsau.ru.

Хартов Виктор Владимирович – доктор технических наук, генеральный конструктор и генеральный директор ФГУП «Научно-производственное объединение имени С. А. Лавочкина». Окончил Томский политехнический институт в 1978 г. Область научных интересов – производство ракетно-космической техники. Т. (495) 251-67-44.

Чимитов Доржи Намсараевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин. Окончил Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана в 1973 г. Область научных интересов – формальные грамматики, компиляторы и интерпретаторы, функциональное программирование, системы построения трансляторов, генераторы компиляторов, формальное описание естественных языков (текстов), кибернетика, инженерия знаний. E-mail: dorji2009@mail.ru.

Шабалов Андрей Андреевич – бакалавр техники и технологий по направлению «Системный анализ и управление», студент магистратуры кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, лауреат премии Президента РФ для одаренной молодежи. Область научных интересов – автоматизированное проектирование интеллектуальных информационных технологий, эволюционные алгоритмы. E-mail: shabalov-andrey@mail.ru.

Шагарова Анна Александровна – преподаватель кафедры общих профессиональных дисциплин Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации, соискатель кафедры телекоммуникаций Ульяновского государственного технического университета, член Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А. С. Попова (РНТОРЭС). Окончила Ульяновскую государственную сельскохозяйственную академию в 2004 г. Область научных интересов – разработка и моделирование алгоритма разнесенного приема в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: nutka82@list.ru.

Щепановская Галина Ивановна – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Новосибирский государственный университет в 1969 г. Область научных интересов – математическое моделирование, газовая динамика. E-mail: gi@icm.krasn.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Аплеснин С. С., Жуков В. Г., Попов Е. А. Применение коэволюционного алгоритма генетического программирования в задаче аппроксимации рефрактометрических свойств оптически прозрачных кристаллов 4

Аплеснин С. С., Жуков В. Г., Попов Е. А., Логинов Ю. Ю. Исследование коэволюционного алгоритма генетического программирования и его применение в задаче моделирования фазовых границ магнитного состояния кристалла 9

Бадмаева К. В., Пенькова Т. Г., Ничепорчук В. В. Проектирование специализированного хранилища данных для мониторинга чрезвычайных ситуаций 14

Бураков С. В., Семенкин Е. С. О решении вариационной задачи методом генетического программирования 19

Галушин П. В., Семенкина О. Э. Разработка и исследование эволюционных алгоритмов дискретной оптимизации 25

Дегтерев Д. А., Дегтерев А. С. Математические методы решения задачи составления цеховых расписаний 29

Дегтерев А. С., Усаков В. И., Хартов В. В. Проблемы автоматизации процессов на производящем предприятии 34

Демиденко Н. Д. Исследование статических и динамических режимов процессов массообмена 36

Жучков Д. В. Реализация механизмов наследования для обеспечения ретроспективного OLAP-анализа 41

Иванчура В. И., Прокопьев А. П. Оптимизация следящей системы автоматического управления 44

Коробко А. В., Пенькова Т. Г. Алгоритмы формирования интегральной OLAP-модели предметной области 49

Кравченко В. А., Могнонов П. Б., Чимитов Д. Н. Представление знаний в функциональных грамматиках 55

Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., Смирнов А. Н. Расчет параметров движения приводов механизма параллельной структуры 62

Назаров С. Н., Аверьянов Е. С., Шагарова А. А., Назаров А. С., Касеева Н. А. Анализ методов повышения эффективности обработки данных высокомобильных абонентов в сети широкополосного доступа 65

Ноженков А. И. Методика OLAP-моделирования территориальных программ медицинской помощи 71

Панфилов И. А., Смирнов Н. А., Терсков В. А. Разработка математического и алгоритмического обеспечения интеллектуального проектирования аппаратно-программных комплексов обработки информации в распределенных высокопроизводительных системах 77

Победаш П. Н., Семенкина О. Э., Сенашов С. И. Агрегированная модель реальных инвестиций с частично неопределенными спросом и фондоотдачей производственных активов 81

Рыжиков И. С. Решение терминальной задачи управления для нелинейных динамических систем 85

Сенашов С. И., Гомонова О. В., Михеев А. Е. О построении полей скоростей для известных неособых полей напряжений 88

Сенашов С. И., Филюшина Е. В., Попов Е. А. Преобразование точных решений уравнений пластичности высшими симметриями 90

Сенашов С. И., Филюшина Е. В., Попов А. М., Ковалев И. В. Некоторые точные решения уравнений анизотропной теории пластичности 92

Треногин Н. Г., Веловатый Е. А., Петров М. Н. Описание технической архитектуры системы управления предприятием связи с использованием тензорной методологии анализа систем 95

Щепановская Г. И. Математическое и численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа 101

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Боровик И. Н. Технический облик кислородно-водородной жидкостной ракетной двигательной установки межорбитального транспортного аппарата 108

Кузовников А. В., Гуляев И. А. Исследование эффективности использования цифровой обработки в спутниковых системах связи 113

Лавренов В. А., Кацура А. В. Влияние операций упрочнения на усталостную долговечность элементов конструкций авиационной техники 118

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

Автономов Н. Н., Пучнин М. С. Регистрация диаграммы вдавливания шарового индентора с использованием измерительной головки 124
Браверман В. Я., Белозерцев В. С., Вейсвер Т. Г. Устройство для автоматического слежения за стыком при электронно-лучевой сварке 127
Крушенко Г. Г. Дегазация лигатур Al–Zr и Al–Ti с целью повышения механических свойств конструкционного сплава АЛ27-1 130
Krushenko G. G., Bartenev V. A. Size, form and distribution of intermetallic particles of $TiAl_3$ in aluminium-titanium alloying composition 132
Михеев А. Е., Гирн А. В., Хартов В. В., Вахтеев Е. В., Евкин И. В. Совершенствование технологии нанесения защитных покрытий на конструкции космических аппаратов микродуговым оксидированием 134
Михеев А. Е., Гирн А. В., Ивасев С. С., Кудымов В. И. Электродуговое упрочнение титановых сплавов 138

РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА

Александров Ю. Л., Клименкова Т. А. Факторы и принципы качества управления предприятием сферы услуг в условиях рынка 142
Беляков Г. П. Проблемы модернизации и технологического развития экономики регионов Сибири 147
Белякова Е. В. Проблемы социально-экономического развития региона 151
Белякова Е. В., Головенкин Е. Н. Методический инструментарий формирования и реализации управленческих технологий инновационного развития региона 155
Бойко А. А. Методы стратегического планирования инновационного воспроизводства основных производственных фондов 160
Васильева З. А. Факторы, условия и механизмы инновационного роста экономики региона 165
Ерыгин Ю. В., Новикова И. Н. Модифицированный SWOT-анализ как инструмент формирования стратегических ориентиров 170
Ерыгин Ю. В., Саакян А. М. Инструменты выбора форм и методов стимулирования инновационной деятельности предприятий оборонно-промышленного комплекса 172
Зеленская Т. В., Простакова И. В., Голощапова О. С. Использование инструментов программно-целевого планирования с целью повышения эффективности бюджетных инвестиций и иных расходов бюджета города Красноярска 178
Куимов В. В., Рагозина М. А. Стратегическое планирование производственной программы предприятий оборонно-промышленного комплекса: принципы и типология продуктов 182
Лютых Ю. А. Повышение устойчивости экономики регионов России за счет минерально-сырьевого потенциала 187
Лячин В. И. Оборонная промышленность в структуре общественного воспроизводства 191
Лячин В. И., Корсукова Н. Д., Кузнецов А. А. Равновесное состояние общественного воспроизводства в условиях инновационного роста российской экономики 196
Подвербных О. Е. Роль инновационных организаций в развитии региональной экономики 201
Семенкин Е. С., Шабалов А. А., Клешков В. М. Система поддержки принятия решений при управлении инновациями реструктурированного машиностроительного предприятия 207
Таюрский А. И. Организационно-экономический механизм формирования государственной промышленной политики с учетом перспектив развития человеческого потенциала 211
Фалалеев А. Н., Лютых О. Ю. Регионы страны в «тени» российского авиапрома 214

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 218

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, COMPUTER SCIENCE

Aplesnin S. S., Zhukov V. G., Popov E. A. Coevolutionary genetic programming algorithm application in approximation problem of approximation of refractometric properties of optical transparent crystals 4
Aplesnin S. S., Zhukov V. G., Popov E. A., Loginov Yu. Yu. Research of coevolution genetic programming algorithm and its application in the problem of model analysis of phase boundaries of magnetic state of a crystal 9
Badmaeva K. V., Penkova T. G., Nicheporchuk V. V. Lay out of specialized data bank for emergency monitoring 14
Burakov S. V., Semenkin E. S. On solution of variational problem with genetic programming techniques 19
Galushin P. V., Semenkina O. E. Development and evaluation of evolutionary algorithms for discrete optimization 25
Degterev D. A., Degterev A. S. Mahtematical methods of solution of workshop scheduling problem 29
Degterev A. S., Usakov V. I., Khartov V. V. The problems of automation of processes at manufacturing enterprises 34
Demidenko N. D. Investigation of static and dynamic regimes of mass transfer processes 36
Zhuchkov D. V. Realization of inheritance mechanisms for confirmation of retrospective OLAP-analysis 41
Ivanchura V. I., Prokopiev A. P. Optimization of a tracker system of automatic control 44
Korobko A. V., Penkova T. G. Algorithms of composition of the integral OLAP-model in object domain 49
Kravchenko V. A., Mognonov P. B., Chimitov D. N. Knowledge representation in functional grammars 55
Mirzaev R. A., Smirnov N. A., Smirnov A. N. Calculation of motion drive of parallel mechanism 62
Nazarov S. N., Averianov E. S., Shagarova A. A., Nazarov A. S., Kaseeva N. A. The analysis of ways of upgrade of data processing of highly mobile subscribers in a network of broadband access 65
Nozhenkov A. I. OLAP-modeling method of territorial programs of medical care 71
Panfilov I. A., Smirnov N. A., Terskov V. A. Development of models and algorithms of intelligent design of software and hardware complexes of information processing in distributed high-performance systems 77
Pobedash P. N., Semenkina O. E., Senashov S. I. Aggregative model of real investment under partly uncertain demand and returns of productive assets 81
Ryzhikov I. S. Solution of the problem of terminal control for nonlinear dynamic systems 85
Senashov S. I., Gomonova O. V., Mikheev A. E. About construction of fields of velocities for known nonsingular stress fields 88
Senashov S. I., Filyushina E. V., Popov E. A. Transformation of exact solutions of equations of plasticity with advanced symmetries 90
Senashov S. I., Filyushina E. V., Popov A. M., Kovalev I. V. Some exact solutions of equations of the anisotropic theory of plasticity 92
Trenogin N. G., Velovatiy E. A., Petrov M. N. Description of technical architecture of erp-system of «Sibirtelecom» with the use of tensor methodology of system analysis 95
Shchepanovskaya G. I. Mathematical and numerical modelling of currents of viscous thermally conductive gas 101

PART 2. AVIATIONAND SPACE-ROCKET ENGINEERING

Borovick I. N. Technical characteristics of oxygen-hydrogen liquid rocket propulsion system of interorbital space vehicle 108
Kuzovnikov A. V., Gulyaev I. A. Research of efficiency of use of digital processing in satellite communication systems 113
Lavrenov V. A., Katsura A. V. The effect of strengthening operations on endurance life of aircraft appliances structural elements 118

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS

Avtonomov N. N., Puchnin M. S. Registration of the spherical ball indentor diagram with the use of the new measuring head 124
Braverman V. Ya., Belozertcev V. S., Veysver T. G. Automatic detection system for the seam at the electron beam welding process 127
Krychenko G. G. Degasification of Al–Zr and Al–Ti alloying composition for increase of mechanical properties of constructional Al 27-1 alloy 130
Крушенко Г. Г., Бартенев В. А. Величина, форма и распределение частиц интерметаллида $TiAl_3$ в лигатуре алюминий-тита 132
Mikheyev A. E., Girn A. V., Hartov V. V., Vahteev E. B., Evkin I. V. Perfection of technology of application of sheetings on frames of sc by microarc oxidation 134
Mikheyev A. E., Girn A. V., Ivasev S. S., Kudymov V. I. Electroarc hardening of titanic alloys 138

PART 4. ECONOMICS

Aleksandrov Yu. L., Klimenkova T. A. Factors and principles of quality of management in enterprises of service industry in conditions of market economy 142
Belyakov G. P. Problems of modernization and technological development of economy of Siberian regions 147
Belyakova E. V. Problems of social and economic development of the region 151
Belyakova E. V., Golovenkin E. N. Methodological instruments of the formation and realization of managerial technologies of innovative development of regions 155
Boyko A. A. Methods of strategic planning of innovative reproduction of production capital funds 160
Vasilieva Z. A. Factors, conditions and mechanisms of innovative growth of the regional economy 165
Erygin Yu. V., Novikova I. N. Modificated SWOT-analysis as the tool of formation of strategic guidelines 170
Erygin Yu. V., Saakyan A. M. Tools of choice of forms and methods of stimulation of innovation activity at enterprises of defence industry complex 172
Zelenskaya T. V., Prostakova I. V., Goloschapova O. S. Use of the program budgeting tools for increase of efficiency of budgetary investments and other expenses of budget of Krasnoyarsk city 178
Kuimov V. V., Ragozina M. A. Strategic planning of the production program of the enterprises of the defense industrial sector: principles and typology of products 182
Lyutykh Yu. A. Improvement of stability of economy of the regions of Russia at the cost of mineral and primary products potential 187
Lyachin V. I. Defense industry in structure of public reproduction 191
Lyachin V. I., Korsukova N. D., Kuznetsov A. A. Balanced state of public reproduction in the conditions of innovative growth of Russian economy 196
Podverbnykh O. E. The role of innovative organisations in development of the regional economy 201
Semenkin E. S., Shabalov A. A., Kleshkov V. M. System of support of decision making for restructurized machine building enterprise innovations management 207
Tayurskiy A. I. The organizational-economic mechanism of formation of the state industrial policy with regard to prospects of development of human potential 211
Falaleev A. N., Lyutykh O. Yu. Regions of the country in the «shadow» of Russian aviation industry 214

Приложение № 2
к Положению № 63/74 от 15.03.06
о журнале «Вестник СибГАУ»

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СИБГАУ»

Общие требования. Тексты статей представляются в редакцию журнала в электронном и печатном виде на русском и английском языках. Русскоязычная версия должна сопровождаться английским переводом фамилии автора (авторов); названия статьи; аннотации; ключевых слов (см. пример оформления статьи).

Файл со статьей представляется на любом электронном носителе.

На последней странице ставится подпись автора (авторов) статьи. Количество авторов одной статьи – не более пяти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй раз – в соавторстве.

Индекс УДК предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

Оригинал должен быть чистым, не помятым, без правок, вписанных от руки. Страницы нумеруются карандашом на обороте.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Word.

Содержание. В статье необходимо сформулировать проблемы, отразить объект исследования, достигнутый уровень процесса исследования, новизну результатов, область их применения.

Статья должна заканчиваться выводом. Текст вывода набирается отдельным абзацем (абзацами), в котором акцентируется новизна результатов, эффективность их использования и др.

Объем статьи: 7–8 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографические ссылки).

Параметры страницы. Формат А4 (210×297 мм). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

По центру помещаются инициалы и фамилия автора (авторов).

Не допускается (!) в тексте статьи набирать слова прописными (заглавными) буквами, жирным шрифтом или курсивом, а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформление набора, выполняемого в журнале.

Ниже по центру шрифтом 12 пт печатается название статьи и через строку курсивом – аннотация, ключевые слова (не более 6).

Основной текст статьи размещается через пробел от аннотации. Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается. Заголовки глав должны быть центрированы.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Ссылки на литературные или иные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки, например [1]. Ссылки должны быть последовательно пронумерованы.

При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Примечания. Смысловые пояснения основного текста или дополнения к нему оформляются в виде внутритекстовых примечаний среди строк основного текста специальной рубрикой, выделенной светлым курсивом: *Примечание.* (одно примечание), *Примечания*: (несколько примечаний). Отделяются от текста *точкой* (если стоят в единственном числе в подбор к тексту примечания). Примечания должны быть последовательно пронумерованы.

Формулы. Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов – символами (шрифт Symbol). Специальные сложные символы, а также многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным образом, должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Набор математических формул в пределах всего текста должен быть единообразен:

– русские и греческие символы – прямым шрифтом;
– латинские – курсивом;
– размер обычного символа – 12 пт;
– крупный индекс – 10 пт;
– мелкий индекс – 9 пт;
– крупный символ – 11 пт;
– мелкий символ – 10 пт.

Формулы, набранные отдельными строками, располагают по центру.

Не допускается (!) набор в основном тексте статьи простых латинских, греческих или специальных символов в редакторе формул.

Таблицы должны быть последовательно пронумерованы. Слово «таблица» набирается светлым курсивом с выравниванием вправо, шрифтом 11 пт, например *Таблица 1*, ниже – заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, то она может быть помещена на отдельной странице, а в случае, когда она имеет значительную ширину, – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации. Оформляются отдельным файлом с расширением tiff. Последовательно пронумеровываются обычным шрифтом без кавычек с выравниванием по центру, например, Рис. 1. Могут содержать подрисуночную подпись, шрифтом 11 пт. Иллюстрации могут быть сканированы с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Не принимаются цветные иллюстрации и иллюстрации с разрешением 300 dpi и более.

Библиографические ссылки составляются в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещаются после основного текста (ГОСТ 7.0.5–2008).

К печатному варианту статьи необходимо приложить:

1) экспертное заключение о возможности открытой публикации;

2) внешнюю рецензию (рецензент, желательно, не ниже ученой степени доктора наук);

3) сведения об авторе:

– фамилия, имя, отчество (полностью);

– ученая степень, звание, должность;

– вуз, год его окончания;

– область научных интересов;

– место работы, номер телефона;

– адрес для переписки (для иногородних);

– e-mail.

Внимание! Материалы статьи авторы сдают лично секретарю журнала или высылают почтой с указанием обратного адреса. По электронной почте статьи не принимаются.

Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 621.396.96.001(07)

И. А. Иванов

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ДВУХКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассмотрена децентрализованная обработка информации в двухканальных измерительных системах при косвенном измерении для различных алгоритмов фильтрации оценки вектора состояния в измерительных пунктах и пункте обработки информации. Проведен сравнительный анализ результатов имитационного моделирования синтезированных алгоритмов.

Ключевые слова (не более 6):

Задача обеспечения высокой точности оценивания координат и параметров траектории движения объекта может быть решена за счет применения многоканальных измерительных систем с оптимальной централизованной обработкой.

(Продолжение текста публикуемого материала).

---

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00-01-00912).

Библиографические ссылки

1. Гришин Б. П., Казаринов Ю. М. Динамические системы, устойчивые к отказам. М. : Радио и связь, 1985.

2. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. Вып. 1. Красноярск, 2000. С. 173–191.

I. A. Ivanov

DECENTRALIZED ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING IN TWO-CHANNEL MEASURE SYSTEMS

It is covered a decentralized algorithms of information processing in two-channel measure systems in case of an indirect measuring for different filtration algorithms of a condition vector estimation at the reception measure station and the station of information processing. Comparative analysis is carried out with a help of imitation modeling of synthesized algorithms.

Keywords: